

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh a výroba prototypu dveří elektromobilu

Titan – reingeneering

Design and manufacture of the prototype door for electric car

Titan – reingeneering

Autor práce:

Bc. Vojtěch Kantor

Rok odevzdání:

2021

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta materiálůvě-technologická  
Katedra materiálů a technologií pro automobily

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Vojtěch Kantor**

Studijní program: N0715A270004 Materiály a technologie pro automobilový průmysl

Téma: Návrh a výroba prototypu dveří elektromobilu Titan - reingeneering  
Design and manufacture of the prototype door for electric car Titan - reingeneering

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Shrnutí současného stavu.
3. Návrh konstrukčních úprav stávajícího řešení.
4. Výroba prototypu.
5. Testování funkčnosti.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VLK, František. Automobilová technická příručka. Brno: F. Vlk, 2003. ISBN 80-238-9681-4.
- [2] VLK, František. Stavba motorových vozidel. Brno: F. Vlk, 2003. ISBN 80-238-8757-2.
- [3] McBeath, Simon. Competition Car Composites - A Practical Handbook (Revised 2nd Edition), 208 pages, ISBN: 978-1-845849-05-4.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavel Klaus, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2020

Datum odevzdání: 23.04.2021

---

doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.  
vedoucí katedry

---

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.  
děkanka fakulty

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na problematiku systému otevírání a samotné konstrukce tzv. „Motýlích dveří“, který bude použit u prototypu SC Titan. Takový způsob otevírání dveří je nestandardní a jeho konstrukce složitá, avšak vizuálně velmi atraktivní. V této práci je řešena možnost využití rámu dveří, který byl vytvořen z podpůrné struktury 3D tisku, která byla potažena uhlíkovým vláknem. Diplomová práce se skládá z části teoretické a praktické. V teoretické části byl vytvořen 3D model rámové konstrukce, byly zde řešeny kontrolní výpočty v programu ADAMS, pomocí kterých se ověřoval návrh otevíracího systému dveří. Dále jsou zde popsány jednotlivé komponenty dveří, které vychází z designového návrhu a je zde provedeny kontrolní výpočty z vytvořeného návrhu nosné dveřní konstrukce. V praktické části práce je popsán proces výroby prototypu nosné struktury dveří, a je zde provedeno testování funkčnosti dveří.

### Klíčová slova:

Dveře automobilu, rám, 3D tisk, uhlíkové vlákno, insert, simulace

## Abstract

This diploma thesis focuses on the issue of the opening system and the construction of the sportcar side doors called "Butterfly Door", which will be used in the prototype SC Titan. Such a way of opening the door is non-standard and its construction is complicated, but visually is very attractive. This work addresses the possibility of using a door frame, which was created from a supporting structure of 3D printing and then it was coated by the carbon fiber composite. The diploma thesis consists of theoretical and practical parts. In the theoretical part, a 3D model of the frame structure was created, then were solved control calculations in the ADAMS program, which were used to verify the design of the door opening system. Furthermore, the individual components of the door are described here, which are based on the design proposal, and control calculations are performed from the created design of the supporting door structure. The practical part of the work describes the process of manufacturing supporting structure of the side door prototype and there is a testing of the functionality of the door.

### Key words:

Car door, frame, 3D printing, carbon fiber, insert, simulation

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Pavlu Klausovi, Ph.D. za rady a cenné připomínky. Především mu děkuji za poskytnutí potřebných informací k praktické části diplomové práce. Také chci poděkovat panu Ing. Marku Besedovi za ochotu a rady, které mi dával při práci na praktické části. Dále děkuji panu Ing. Miroslavu Suchánkovi za cenné rady při výpočtech a simulacích. V neposlední řadě děkuji panu MgA. Rostislavu Zapletalovi za cenné rady při práci na tvorbě konstrukčního modelu.

## Obsah

1.	Úvod do problematiky.....	6
1.1	Součásti dveří.....	7
1.2	Uživatelské požadavky na dveře automobilu.....	9
1.3	Bezpečnost .....	10
1.3.1	Výběr nejdůležitějších požadavků na konstrukci, montáž a zkoušky pevnosti zámků vozidel kategorie M1.....	10
1.3.2	Výňatek nejdůležitějších požadavků na konstrukci a zkoušky pevnosti závěsů vozidel kategorie M1. ....	11
1.3.3	Norma IIHS- Roof Crush. ....	12
1.3.4	European New Car Assessment Programme (euro NCAP).....	13
2.	Shrnutí současného stavu .....	14
3.	Návrh konstrukčních úprav stávajícího řešení .....	16
3.1	Technologie.....	16
3.2	Jádro .....	17
3.2.1	Odstranitelná jádra .....	18
3.2.2	Rozpustná jádra .....	18
3.2.3	Pevná jádra .....	19
3.2.4	Voštinová jádra .....	19
3.3	Způsob uchycení .....	22
3.4	Konstrukční návrh.....	25
3.5	Pevnostní analýza.....	28
3.6	Vypočet síly potřebné k otevření dveří .....	32
3.6.1	Výpočet Excel .....	32
3.6.2	Výpočet Adams .....	35
4.	Výroba prototypu .....	43
4.1	Tisk jádra.....	43
4.2	Odlehčení a lepení.....	43
4.3	Výroba insertů a laminace.....	46
5.	Testování funkčnosti .....	50
5.1	Testování závěsu .....	50
6.	Závěr .....	53

## 1. Úvod do problematiky

Tato práce se zaměřuje na problematiku konstrukce a designu dveří automobilu, které se otevírají směrem vzhůru a od vozidla, pomocí závěsů podél A-sloupku. Tento typ otevírání dveří s sebou nese daleko větší problematiku než standardní, tedy běžné otevírání dveří u osobních automobilů, jelikož jeho podstata je daleko složitější. Ale z hlediska designu jsou dveře zajímavé a nevšední. Tento způsob otvírání dveří nese název „Motýlí dveře“, tento typ dveří je patrný na Obr. č 1. Motýlí dveře byly poprvé oficiálně představeny na Alfa Romeo 33 Stradale z roku 1969. Tento typ dveří se objevuje především u vysoce výkonných a sportovních vozů.

V diplomové práci jsou zahrnuty konstrukční a materiálové možnosti. Na začátku práce je shrnuta základní legislativa, kterou je nutné znát již při návrhu konstrukce dveří. Za účelem vytvoření optimálního konstrukčního návrhu je také nezbytné se seznámit se všemi aspekty, požadavky a směrnicemi, které musí dveře automobilu splňovat. Dále je zde řešen konstrukční návrh, včetně kontrolních výpočtů. Na konci práce je na základě návrhu vytvořen prototyp dveří s dvevní nosnou konstrukcí vytvořenou pomocí metody Rapid prototyping.

Podstatným úkolem této práce je vytvořit návrh, 3D model a reálný prototyp tohoto typu dveří.



*Obr. č 1 BMW i8 s motýlími křídly. [1]*

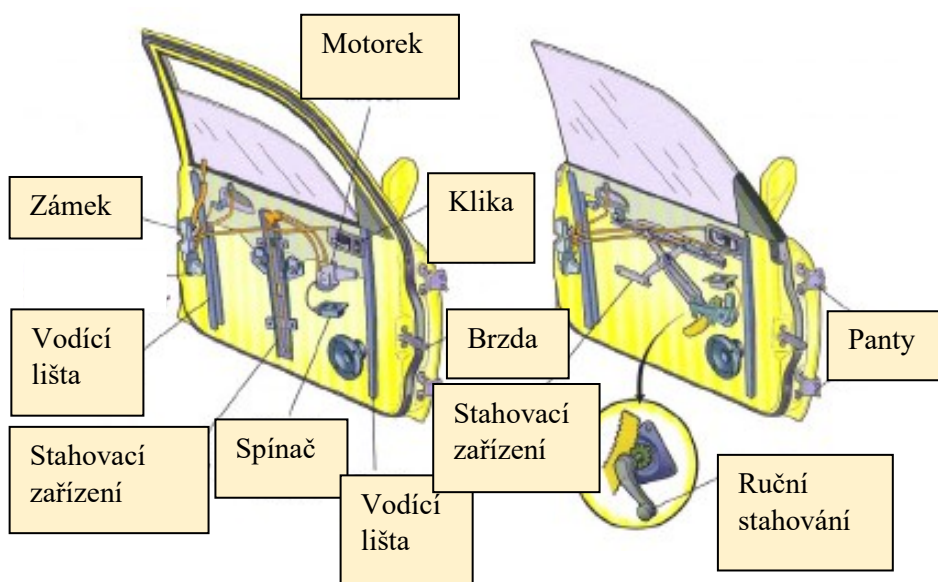
## 1.1 Součásti dveří

Při konstrukci samotného rámu dveří, je třeba dbát na neopomenutí všech důležitých dílů, které jsou do rámu zakomponovány. U moderních automobilů jsou součástí dveří všechny důležité a nezbytné součástky, ale také mnoho dílů výbavy a komfortu.

Důležité součásti dveří, viz Obr. č. 2:

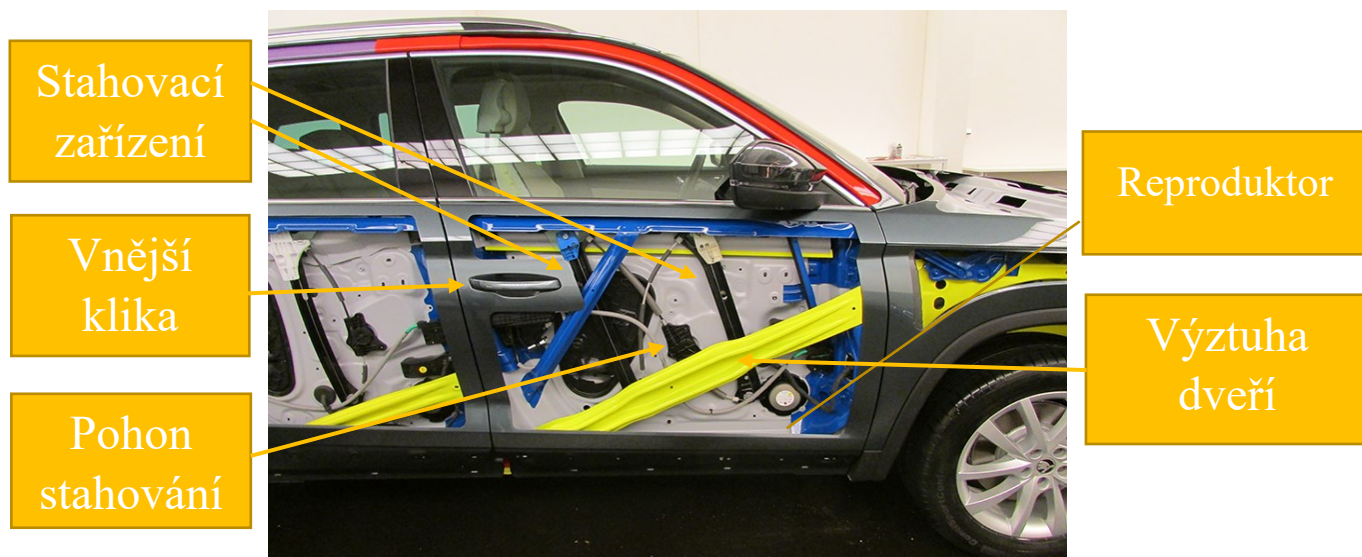
- **Zámek** – sloužící k uzavření a uzamčení vozu.
- **Stahovací zařízení** – určeno ke stahování okna.
- **Bezpečnostní okno** – chrání posádku před pořezáním při autonehodě.
- **Vnější a vnitřní klika** – slouží k otevírání dveří.
- **Panty** – potřebné k otevírání dveří.
- **Brzda nebo plynová vzpěra** – zadržují dveře otevřené při vystupování nebo nastupování.
- **Výztuha** – propojuje dva pevné body rámu, a tak chrání posádku před bočním nárazem.
- **Boční airbag.**
- **Panel dveří.**

[1]



Obr. č 2 Dveře automobilu a jeho komponenty. [2]





Obr. č 3 Dveře vozu a jejich komponenty z vnější strany. [8]

Součásti výbavy a komfortu, viz Obr. č. 4:

- Osvětlení vnitřní a vnější kliky.
- Reproduktor.
- Osvětlení úložného prostoru v panelu dveří.
- Osvětlení vozovky při vystupování.
- Ovladače nastavení.

[1]



Obr. č 4 Vnitřní panel s ovladači a podsvícením. [4]



## 1.2 Uživatelské požadavky na dveře automobilu

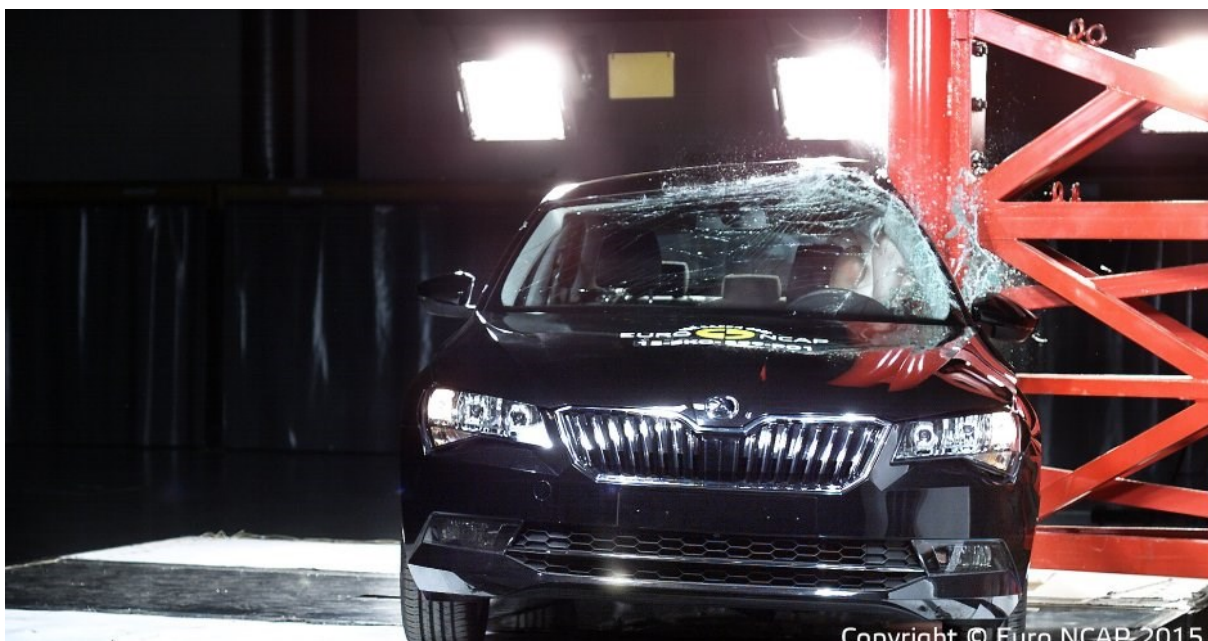
- **Utěsnění** – těsnost vnitřního prostoru zajišťuje snížení hlučnosti při jízdě a odolnost vůči povětrnostním vlivům.
- **Design** – uživatel požaduje líbivý design dveřního panelu, který vzhledem zapadá ke zbytku interiéru.
- **Kvalita použitých materiálů** – je důležitá pro výdrž a dlouhodobou funkčnost.
- **Bezpečnost** – důležitým měřítkem při výběru automobilu je bezpečnost posádky během havárie, proto dochází k neustálému vývoji použitých materiálů na konstrukci dveří a instalace bočních airbagů.
- **Výhled z automobilu a minimalizace mrtvých úhlů** – Výhled je patrný na Obr. č. 5. Tento výhled je velmi důležitý k bezpečné jízdě. Minimální výhled z vozu je upřesněn normou, která určuje pozici řidiče vůči A sloupku, velikost sloupků a umístění zpětných zrcátek. [1],[2]



Obr. č 5 Výhled z vozu přes A sloupek. [6]

### 1.3 Bezpečnost

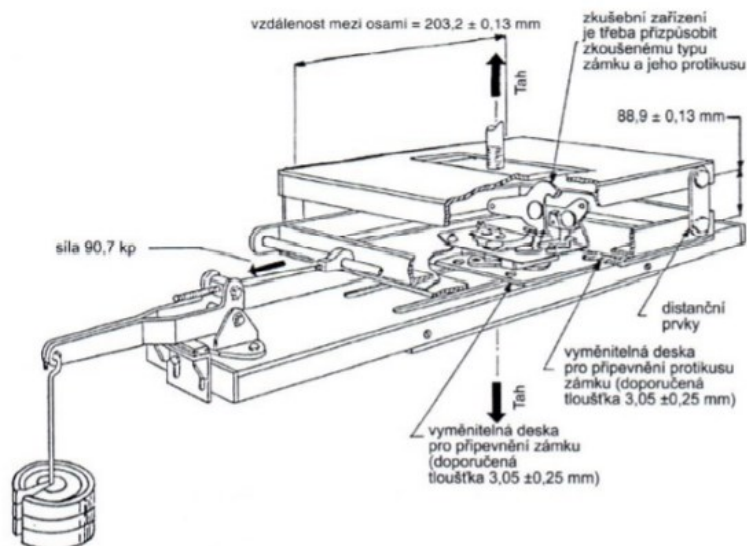
Nepřetržitým vývojem prochází nejen technologie a materiály, ale také bezpečnost. Bezpečí posádky v případě nehody je nejdůležitějším úkolem dveří, avšak při návrhu automobilu je v prvopočátku opomíjeno a přednost dostává design, náročnost na výrobu, aerodynamické vlastnosti apod. Z tohoto důvodu vznikly směrnice a předpisy, kterými se musí designéři a konstruktéři při návrhu konstrukce a designu řídit v oblasti bezpečnosti. Na Obr. č. 6 je patrný boční nárazový test, kterým se testuje tuhost a pevnost karoserie a dveří při bočním nárazu. [1], [2]



Obr. č 6 Nárazový test simulující sloup. [3]

#### 1.3.1 Výběr nejdůležitějších požadavků na konstrukci, montáž a zkoušky pevnosti zámků vozidel kategorie M1.

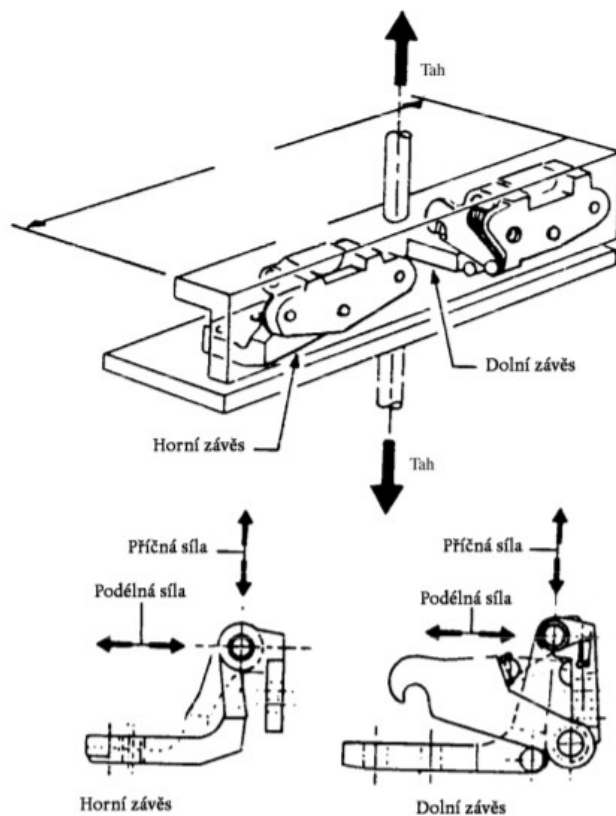
- Každý zámek musí mít mezipolohu uzavření, tak polohu úplného uzavření.
- Podélná síla: Soustava zámku a jeho protikusu musí být schopna odolat podélné síle 453 kp (4440 N) v poloze meziuzavření a 1134 kp (11110 N) v poloze úplného uzavření viz. Obr. č 7 Zámek dveří – zkouška podélnou silou.
- Příčná síla: Soustava zámku a jeho protikusu musí být schopna odolat příčné síle 453 kp (4440 N) v poloze meziuzavření a 907 kp (8890 N) v poloze úplného uzavření.
- Zámek se nesmí uvolnit z polohy úplného uzavření, působí-li na celek zámku včetně mechanismu, který jej uvádí v činnost, v obou směrech podélné nebo příčné zrychlení o velikosti 30G. [3]



Obr. č 7 Zámek dveří – zkouška podélnou silou. [7]

### 1.3.2 Výňatek nejdůležitějších požadavků na konstrukci a zkoušky pevnosti závěsů vozidel kategorie M1.

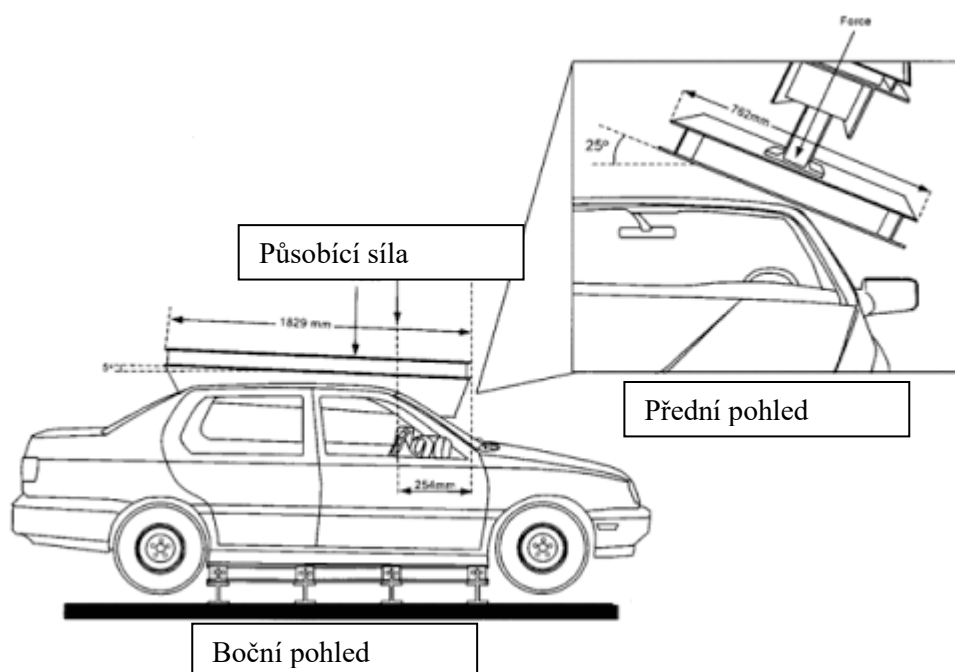
Každý systém závěsu musí být schopen unést dveře a odolávat podélné síle 11110 N a příčné síle 8890 N v obou směrech. [3]



Obr. č 8 Podélná a příčná síla působící na závěs dveří [7]

### 1.3.3 Norma IIHS- Roof Crush.

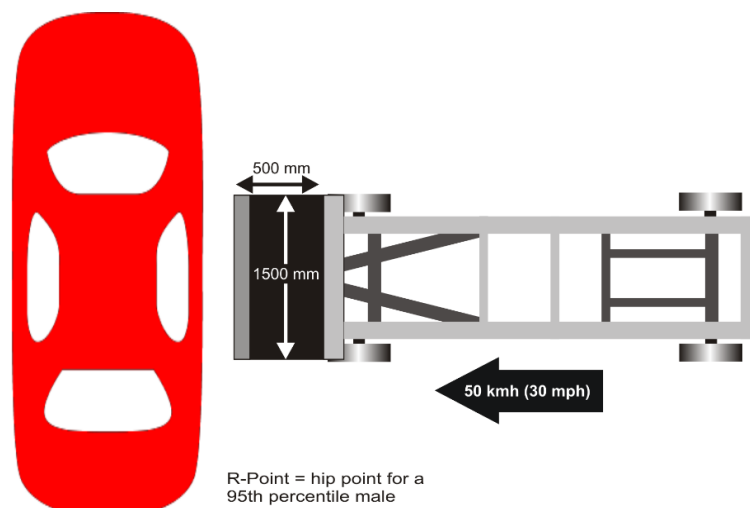
Jedná se o předpis, který stanovuje odolnost vozidla, při převrácení na střechu. Při tomto testu se pomocí lisu tlačí na hranu střechy vozidla „deskou“, která má konstantní rychlost  $5 \text{ mm.s}^{-1}$ . Při zkoušce je vozidlo pevně přichyceno za nosnou část a je měřen odpor, kterým konstrukce karoserie působí vůči stlačování. Deska lisu provede stlačení o 127 mm. Nejvyšší síla během měření při stlačení 127 mm je vydělena naměřenou silou od hmotnosti vozu. Po vydělení získáme výslednou hodnotu SWR (Strength to Weight Ratio), což zjednodušeně znamená, kolikrát by vozidlo uneslo samo sebe, převrátí-li se na střechu. [8]



Obr. č 9 IIHS test vozu při převrácení. [7]

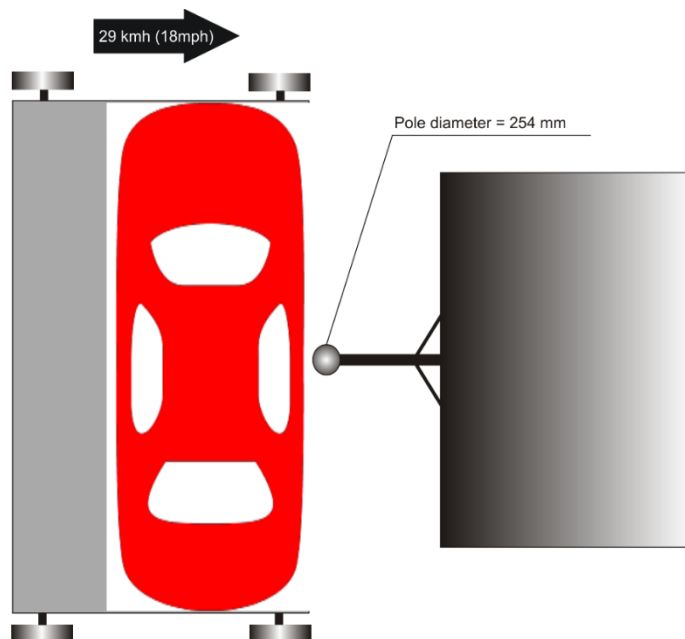
### 1.3.4 European New Car Assessment Programme (euro NCAP)

Boční náraz – nárazový člen se závažím o daných rozměrech narazí na automobil v rychlosti 50 km/h. [4]



Obr. č 10 Boční náraz. [4]

Boční náraz na sloup – vozidlo je rychlostí 29 km/h vysláno proti sloupku o průměru 254 mm. [4]

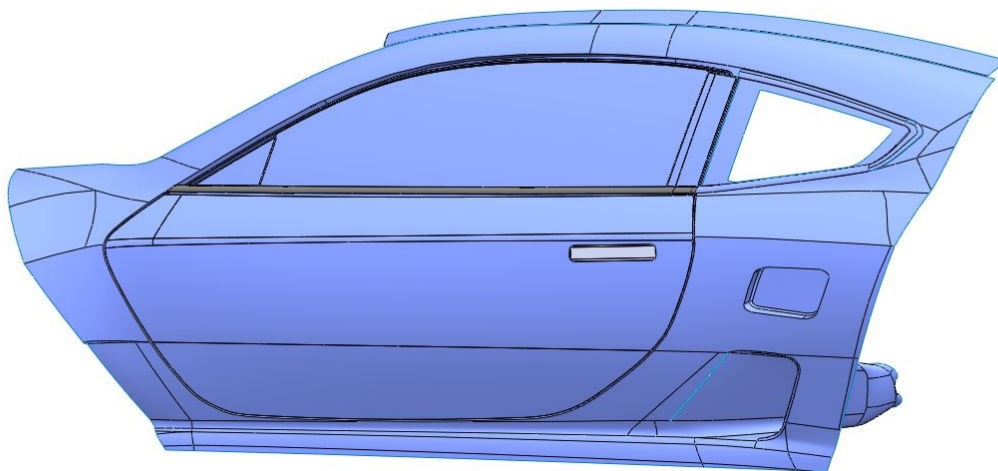


Obr. č 11 Boční náraz na sloup. [4]

## 2. Shrnutí současného stavu

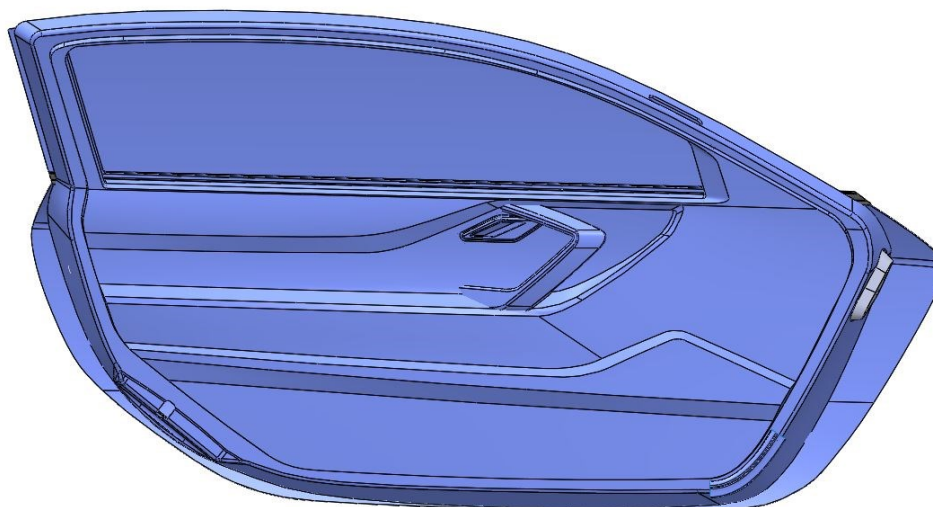
Konstrukční návrh rámu dveří vychází z designového návrhu pana MgA. Zapletala, proto bylo zapotřebí detailní analýzy umístění všech důležitých komponentů a jejich rozměrů. Designový návrh obsahuje vnější a vnitřní obal dveří a také rozmístění komponentů.

Na obrázku č. 12 lze vidět tvar dveří zakomponovaných do designu bočnice vozu.



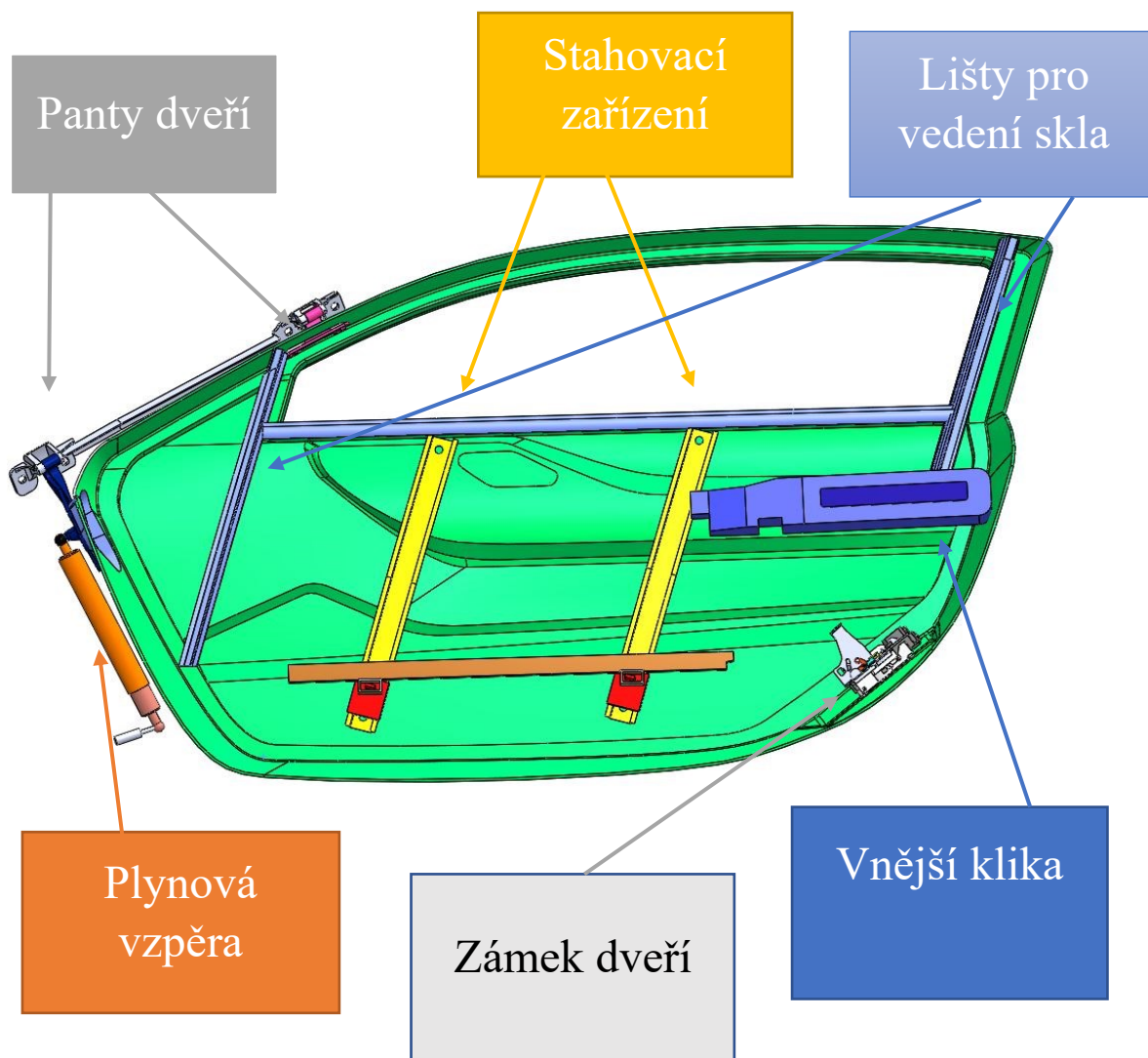
*Obr. č 12 Dveře a boční část projektu Titan.*

Vnitřní část dveří včetně kliky a madla sloužícího k přitažení nebo otevření dveří, viz Obr. 13.



*Obr. č 13 Vnitřní část dveří.*

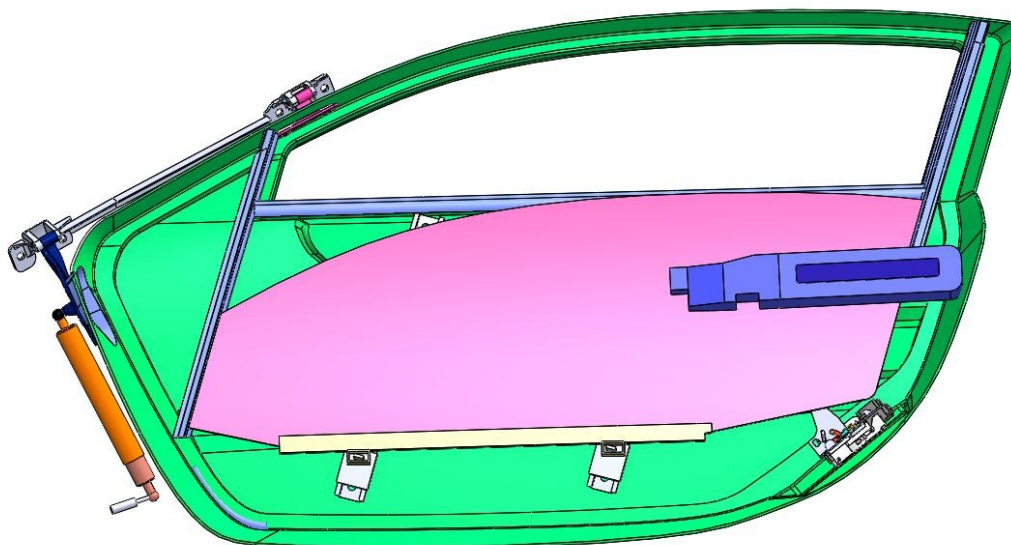




Obr. č 14 Vnitřní část dveří s popisem komponentů



Na obrázku č. 15 lze vidět uspořádání vnitřní části dveří, komponentů a bočního skla.



Obr. č 15 Vnitřní část dveří.

### 3. Návrh konstrukčních úprav stávajícího řešení

Pro nový návrh jsem se rozhodl vytvořit rám kompletně z kompozitního materiálu za pomoci 3D tištěné podpory v současném stavu z materiálu PETG. Velkou výhodou rámu z kompozitního materiálu je nízká hmotnost a vysoká pevnost.

#### 3.1 Technologie

Jedná se o moderní technologii využívající 3D tisk k výrobě tvarově složitých a dutých dílů z kompozitních materiálů. 3D tisk lze využít při výrobě kompozitních dílů dvěma způsoby, a to jako formu nebo také jako jádro. Tato technologie pomáhá zejména při Rapid Prototypingu, tedy rychlé výrobě prototypových součástí. Její využití je tedy významné při výrobě malého počtu kusů.

Formy a jádra mohou být vyrobeny zcela automatizovaným způsobem přímo z CAD souboru. Při využití kvalitního 3D tisku není zapotřebí dlouhého opracovávání formy nebo jádra a může být okamžitě použita k laminaci. Materiál určený k výrobě formy nebo jádra musí být odolný pryskyřicím a teplotě do 200 °C. [5]



*Obr. č 16 Využití 3D tisku při výrobě kompozitních dílů.*

### 3.2 Jádro

Podle výsledné funkce dílu z kompozitních materiálu můžeme určit, jaké vlastnosti by takové jádro mělo mít. Jde tedy o to, zda jádro může nebo nemůže zůstat součástí dílu. Jádro se tedy po vytvrzení pryskyřice může stát pevnou součástí výsledné struktury, nebo mohou být vytištěna z materiálů, které lze po vytvrzení odstranit. [5]



*Obr. č 17 Kompozitní díl s 3D tištěným jádrem. [9]*

### 3.2.1 Odstranitelná jádra

K výrobě je použit materiál, který je snadné mechanicky odstranit. Jádro se rozbíjí na malé kusy. K tomuto způsobu odstranění jádra se využívá aceton, který jádro naleptá a naruší jeho strukturu. Rozbití jádra je poté snazší. [5]



*Obr. č 18 Kompozitní díl s odstranitelným jádrem. [9]*

### 3.2.2 Rozpustná jádra

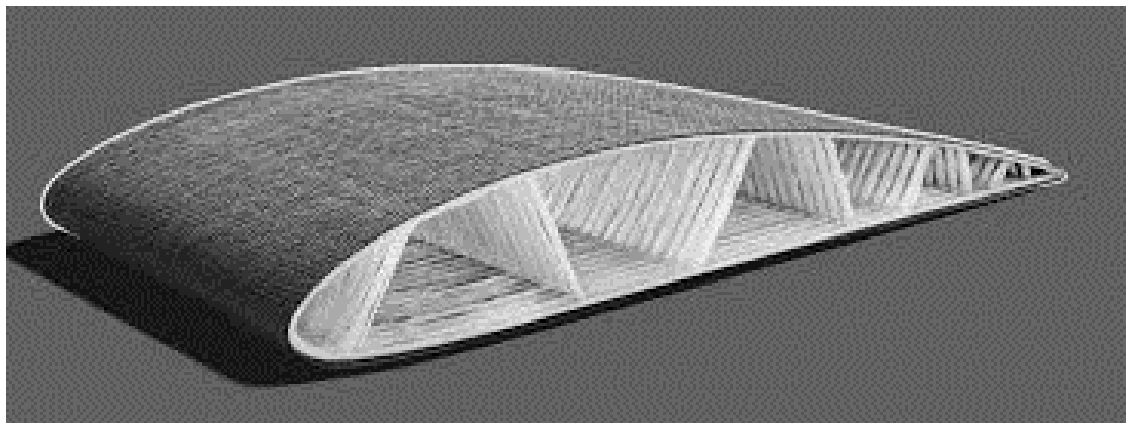
U této metody se využívají k výrobě jádra materiály, které jsou za určitých podmínek rozpustné. Nejčastěji se využívá vodních lázní s teplotou okolo 80 °C nebo jiných tekutin. Vodní lázně obsahují látky urychlující proces rozpouštění např. hydroxid sodný. [5]



*Obr. č 19 Kompozitní díl s rozpustným jádrem. [9]*

### 3.2.3 Pevná jádra

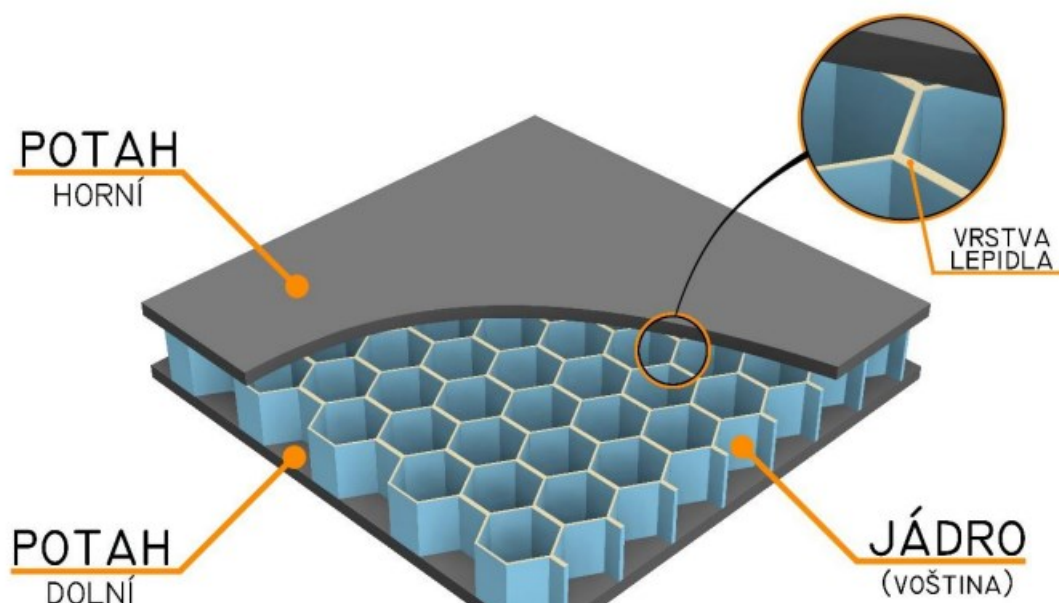
Pevné jádro se stává pevnou součástí kompozitního dílu. Přítomnost jádra nenarušuje vlastnosti ani funkci dílu. [5]



Obr. č 20 Kompozitní díl s pevným jádrem. [10]

### 3.2.4 Voštinová jádra

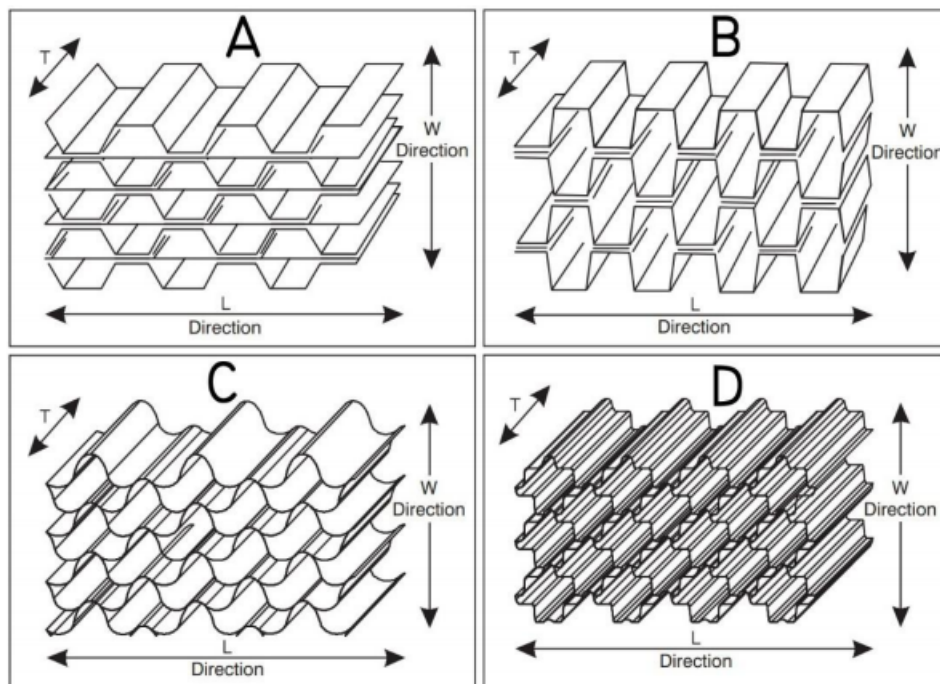
Jedná se o druh výplně, které v nejběžnějším provedení připomínají šestiúhelníkové (hexagonální) buňky včelích plástů. Použitím voštinových výplní se za pomoci spojení stěn buněk jádra společně s potahy, docílí zejména příčné smykové a vzpěrové tuhosti. [8]



Obr. č 21 Voštinové jádro.

Druhy voštin z pohledu tvaru buněk: Z Obr. č 22 Druhy voštin můžeme pozorovat, že kromě symetrické hexagonální buňky se používají také:

- A. Zesílené hexagonální buňky
- B. Voštiny s obdélníkovým tvarem buněk: se používají v případech, kdy je nutné zvýšit pevnost v příčném směru
- C. Sinusové (Flex) buňky: dobrá tvarovatelnost při zakřivení bez vybočení stěn buněk.
- D. Double-Flex: zajišťují výbornou tvarovatelnost a pevnost v tlaku a smyku. [8]



Obr. č 22 Druhy voštin.

Druhy voštin z pohledu použitého materiálu:

- A) Nomexové voštiny
- B) Hliníkové voštiny
- C) Termoplastické voštiny

## Termoplastické voštiny

Výroba jader z různých druhů termoplastů skýtá mnoho výhod pro aplikace, jako jsou vysoká rozmanitost vlastností různých druhů termoplastů, nízká hustota a případně snadná recyklace. Nevýhodou je obtížně dosažitelná adhezní pevnost mezi voštinou a potahem.

- ABS – Akrylonitril-butadien styren
- PC – polycarbon
- PP – polypropylen
- PE – polyethylen
- PLA – polylaktická kyselina

[8]

### PLA

Jedná se o aktuálně nejpopulárnější termoplastický biopolymer. Tento druh materiálu je nejčastěji používaným materiálem pro 3D tisk, který má relativně nízkou teplotu tání 175 °C.

Polotovar je dodáván ve formě struny o průměru 1,75 mm.



*Obr. č 23 3D výtisk termoplastické voštiny.*

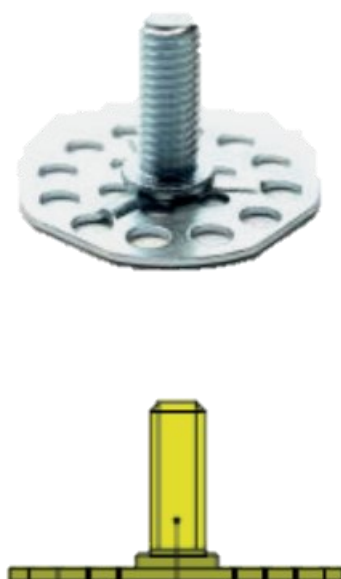
I přes výborné vlastnosti voštinového jádra, je jeho použití v nosném rámu dveří ne zcela ideálním řešením z důvodu obtížně dosažitelné adhezní pevnost mezi voštinou a potahem. Voština je ideální pro rovinné sendvičové struktury, ne však pro rám trubkovitého tvaru. [8]

### 3.3 Způsob uchycení

Na způsob, jakým je potřeba uchytit všechny důležité součásti dveří je zapotřebí myslet už při tvorbě samotného návrhu rámu. K uchycení ke kompozitním dílům se využívá insertů, které je potřeba zakomponovat do rámu už během laminace.

Vkládání insertů do kompozitu je běžným procesem a slouží k vytvoření pevného a nenápadného spojení dvou dílů. Z důvodu efektivní montáže je důležitá integrace spojovacích prvků už při výrobním procesu. Spojovací prvek je zakomponován do lící formy a tím je usnadněna následná výroba. Inserty jsou velmi stabilní a nenápadné.

Tenká plochá hlava, která je zobrazena na Obr. č 24 Spojovací materiál kompozitních dílů v řezu je opatřena děrováním. Děrování slouží k tomu, že kompozit lépe zateče do těchto otvorů a tím napomáhá optimálně přenášet zatížení na strukturu kompozitu. Tímto způsobem je možno dosáhnout u stejného závitového dílu potenciálně vyšší pevností. Různých stupňů pevnosti v tahu a krutu je možno dosáhnout různými velikostmi a tvary hlavy. [6]



*Obr. č 24 Spojovací materiál kompozitních dílů.*



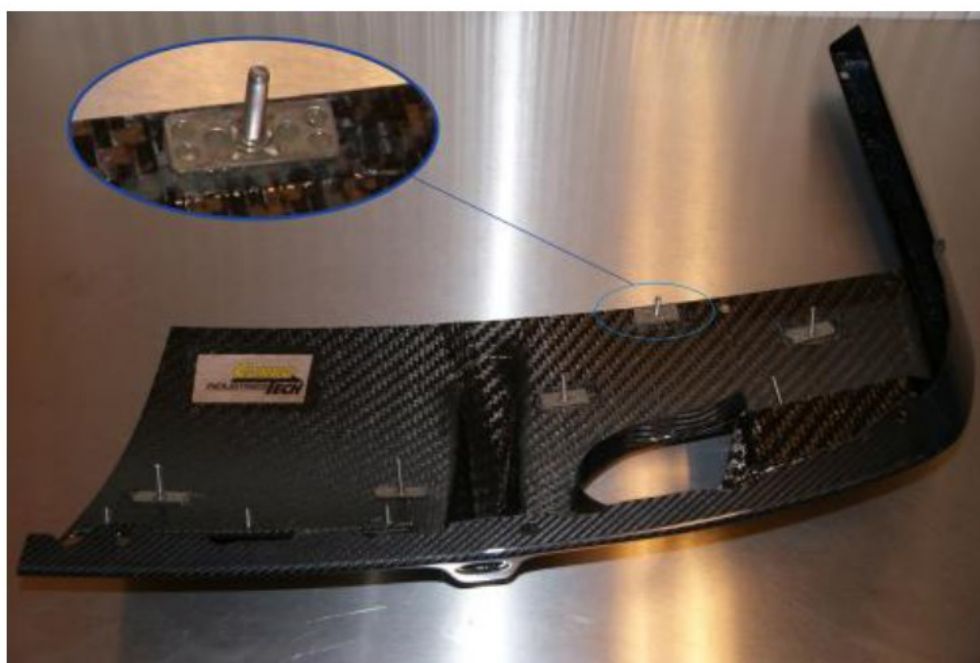
**Hlavní výhody:**

- Úspora hmotnosti: nízká hmotnost insertu a nižší množství kompozitního materiálu.
- Úspora místa: nízká prostorová náročnost k umístění.
- Rychlé vytvrzování spoje: používá se menší množství kompozitu.
- Vyšší pevnost spoje.
- Optimalizace konstrukce.



*Obr. č 25 Různé druhy spojovacího materiálu.*

Pokud je vyráběn díl, který je tenký, tloušťka použitého materiálu je velmi malá a nelze vložit tradiční spojovací prvek, tak můžeme tyto spojovací prvky ke kompozitním dílům přilepit. Lepení spojovacího prvku na povrch kompozitu je velmi hojně využívaným technickým řešením, které zajišťuje bezpečné spojení, protože se tak zabrání deformacím nebo poškození kompozitního dílu. [6]

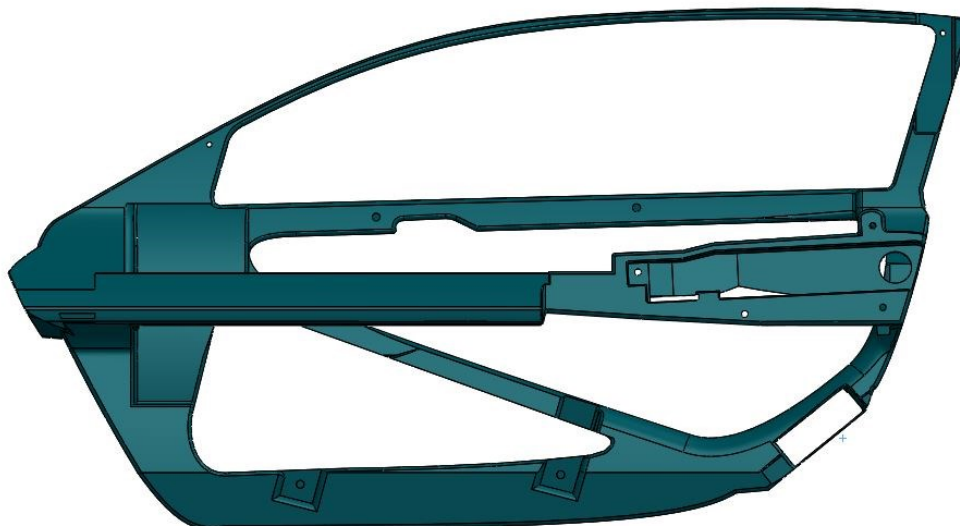


*Obr. č 26 Možnost lepení spojovacího materiálu.*

### 3.4 Konstrukční návrh

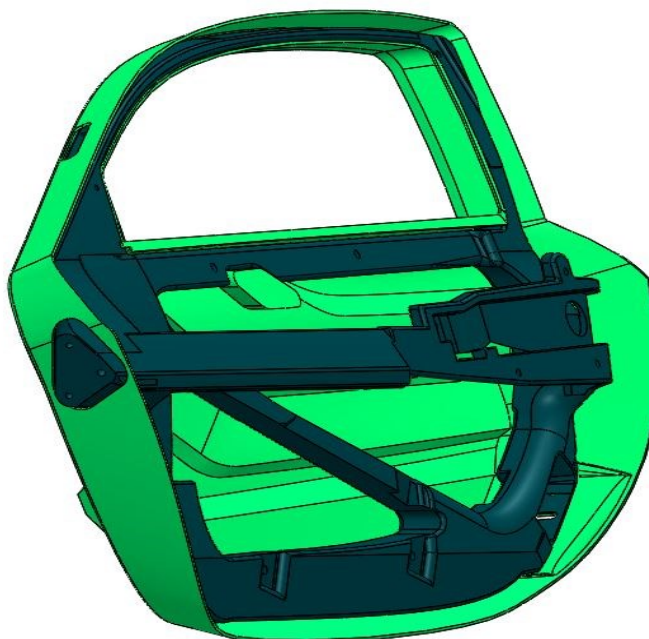
Po detailní analýze designového návrhu a nastudování technologie výroby bylo zapotřebí pracovat na návrhu nosného rámu.

Na obrázku Obr. č. 27 Nosný rám je finální verze modelu nosného rámu dveří.



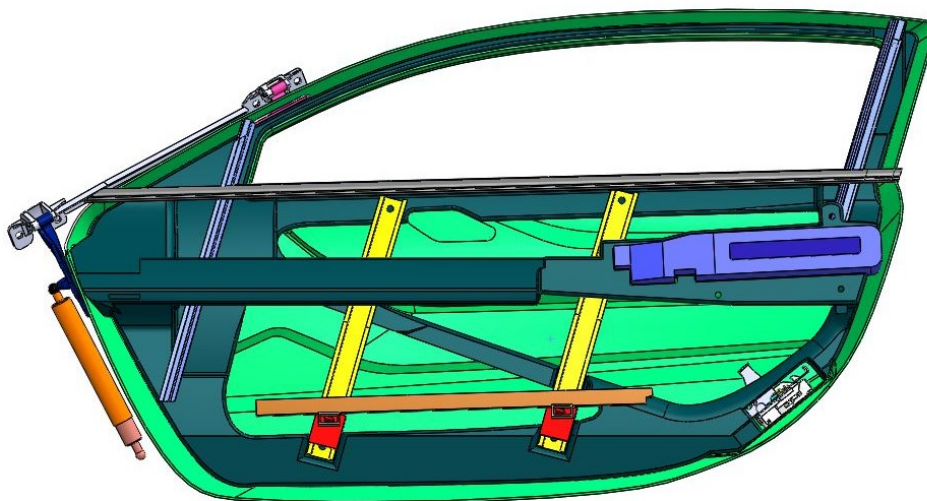
Obr. č. 27 Nosný rám

Nosný rám vložený do obalu dveří.



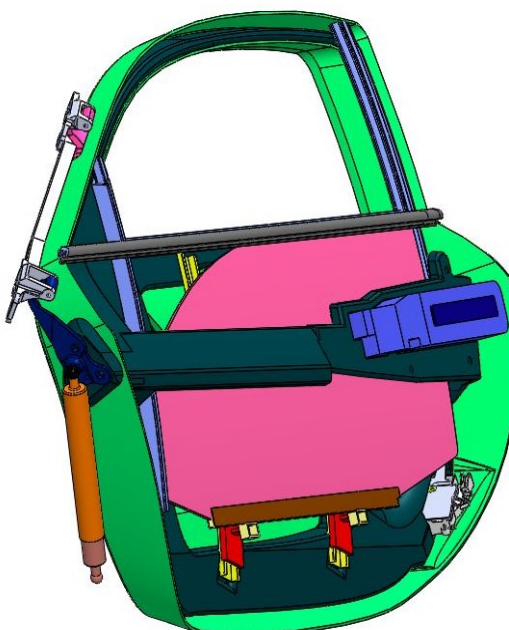
Obr. č. 28 Nosný rám v obalu dveří

Nosný rám vložený do obalu dveří. Na Obr. č 29 Rám s komponenty lze vidět uspořádání komponentů a jejich zakomponování do rámu dveří.



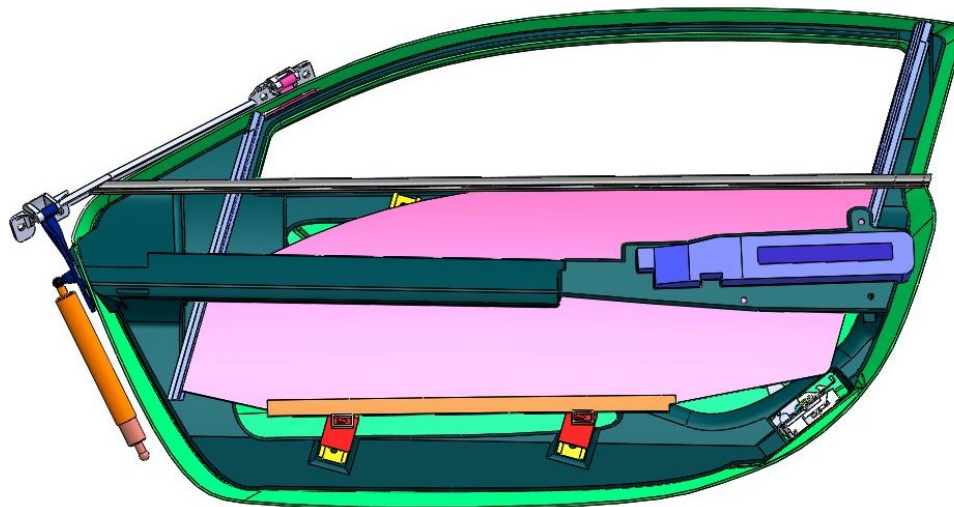
*Obr. č 29 Rám s komponenty*

Na obrázku č. 30 je patrné uspořádání komponentů. Lze zde vidět vnější kliku, zámek, stahovací zařízení, panty, plynovou vzpěru, vodící lišty skla a obal dveří.



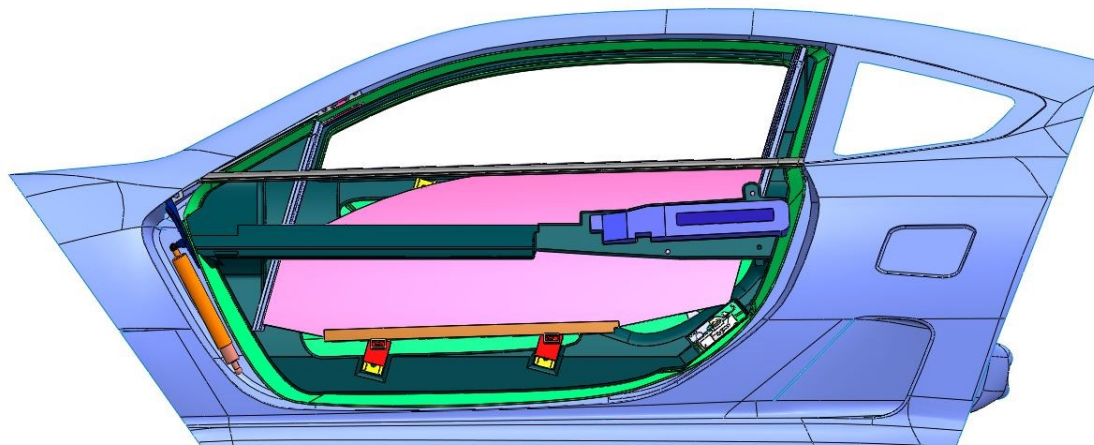
*Obr. č 30 Rám s komponenty*

Na obrázku č. 31 je zobrazeno zakomponování bočního skla do rámu dveří ve stažené poloze.



*Obr. č 31 Rám s komponenty včetně bočního skla*

Rám dveří se všemi důležitými komponenty vložený do boční části vozu. Znázorněno na obrázku č. 32.



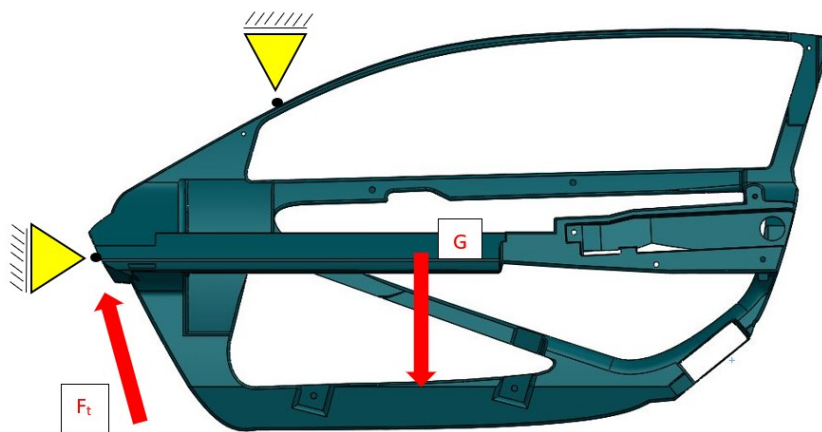
*Obr. č 32 Rám dveří s komponenty a boční částí vozu*



### 3.5 Pevnostní analýza

Před samotným tiskem jádra nosného rámu dveří bylo zapotřebí provést pevnostní analýzu. K simulaci byl vybrán program od společnosti Ansys a to program Workbench. Pomocí statické strukturální analýzy byla provedena simulace zatížení dveří. V první fázi simulací bylo směřodonné, zda rám obstojí a kde jsou jeho případná slabá místa, které by bylo potřeba následně v modelu upravit.

Okrajové podmínky výpočtu jsou patrné z obrázku č. 33. V místech uchycení pantu k rámu dveří je zadána okrajová podmínka nulového posunutí otvorů pro šrouby. Dále je aplikováno tíhové zrychlení na celý model. V místě ukotvení tlumiče dveří je aplikovaná síla ( $F_T$  – síla tlumiče 930N, dle technických údajů udávaných výrobcem).

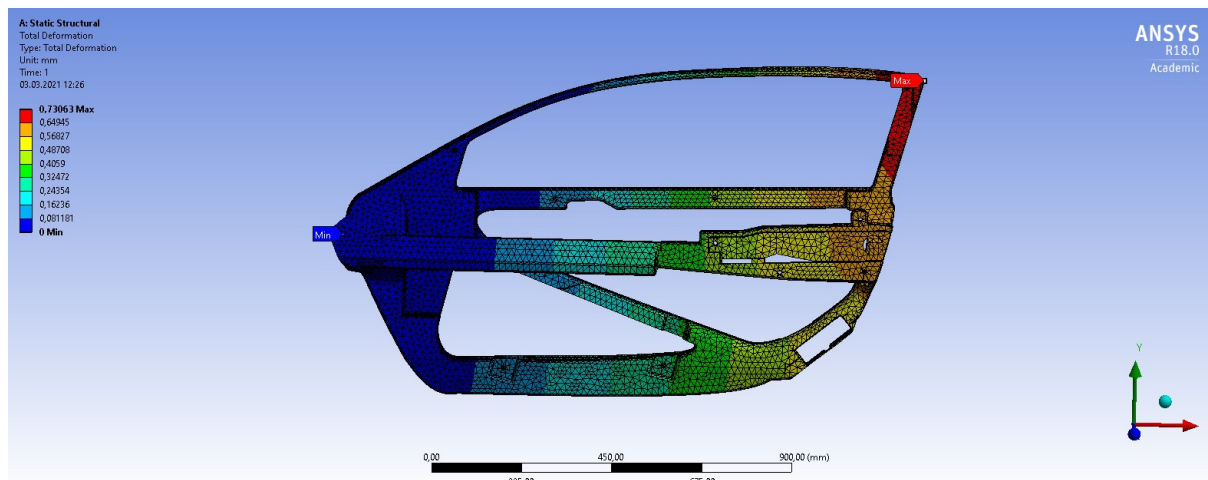


Obr. č 33 Rám dveří se zobrazením působících sil

Materiálové vlastnosti:

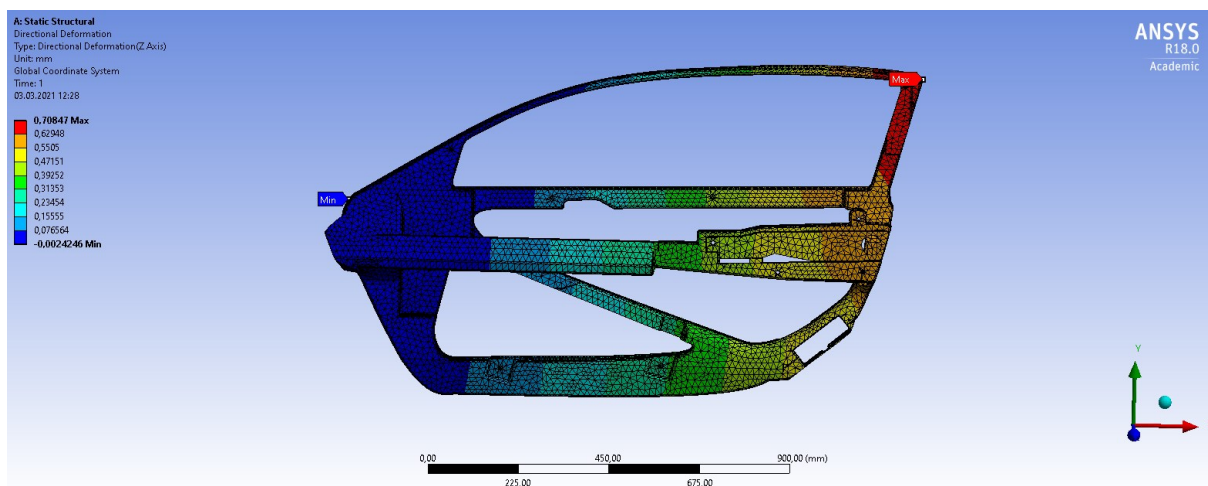
- Pevnost v tahu – 230 GPa
- Youngův modul v ose X–59160 MPa
- Youngův modul v ose Y–59160 MPa
- Youngův modul v ose Z–7500 MPa

Na obrázku je znázorněna celková deformace. Maximální hodnota deformace je 0,73 mm na volném konci dveří. Deformace narůstá postupně od uchycení až po volný konec.



Obr. č 34 totální deformace

Deformace ve směru osy Z je 0,70 mm. Místo největší deformace je zaznamenáno na Obr. č 35 deformace ve směru osy Z. Směrová deformace ve směru osy z výrazně převyšuje deformaci v ostatních směrech.

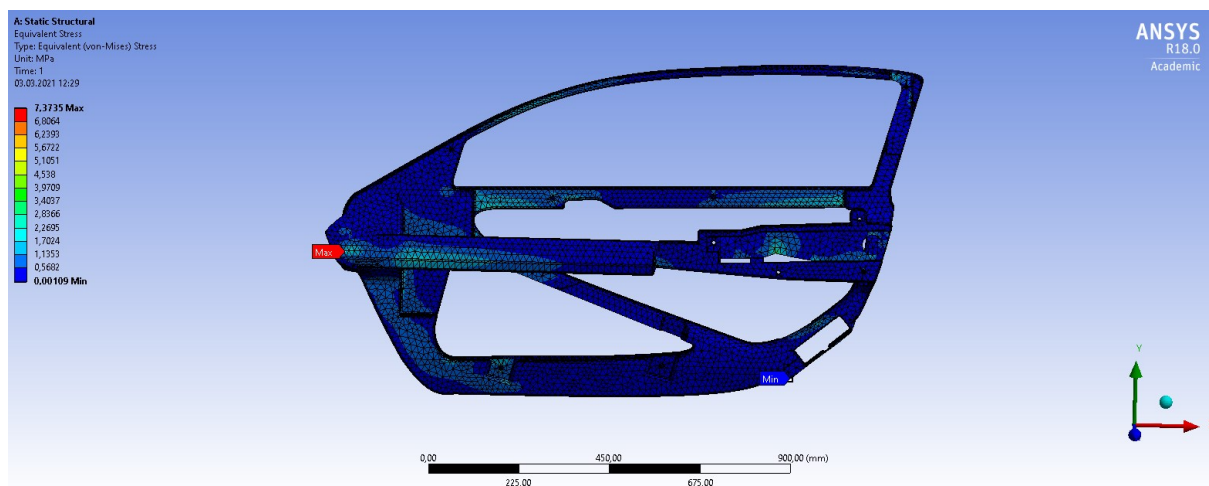


Obr. č 35 deformace ve směru osy Z



Maximální hodnota redukované napětí podle hypotézy HMM je 7,37 MPa a je umístěna v oblasti uchycení pantu dveří, což je místo aplikace okrajové podmínky.

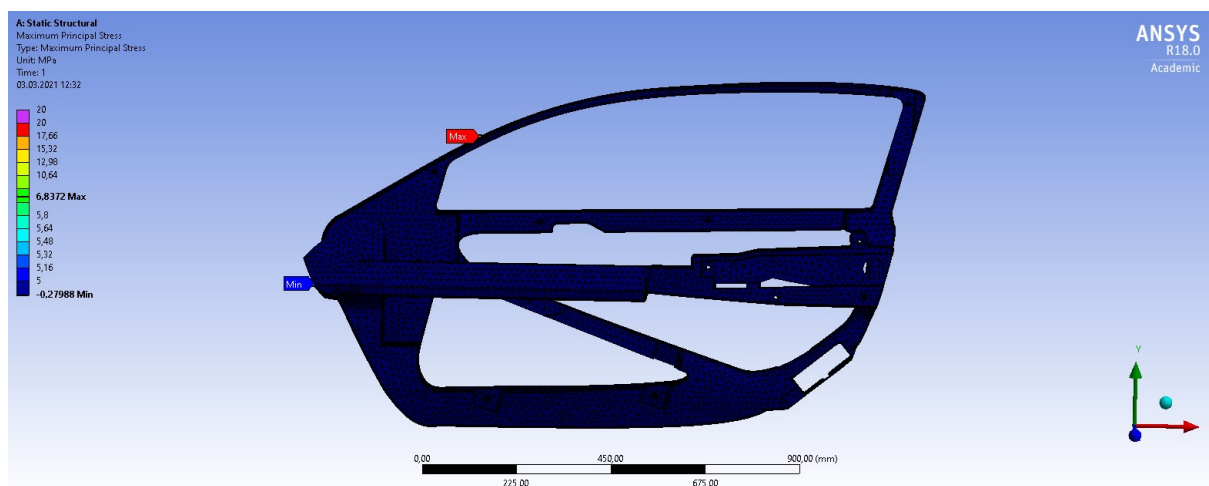
Ve většině objemu rámu nepřesahuje napětí hodnotu 5 MPa. Existují místa se zvýšeným napětím okolo hodnoty 6,84 MPa, která jsou v místech, kde jsou rozdílné velikosti částí.



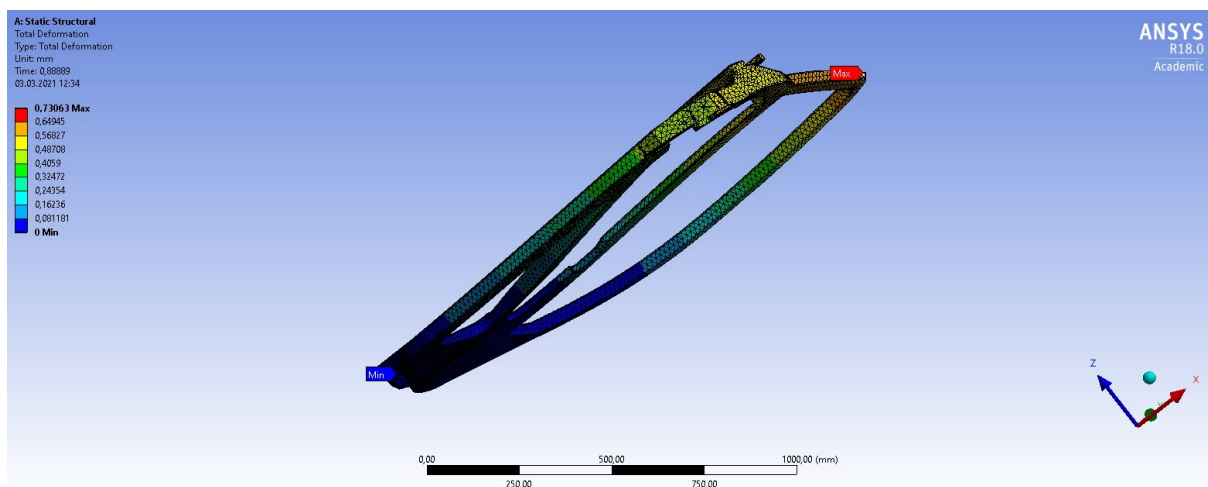
Obr. č 36 ekvivalentní napětí

Nejvyšší hodnota hlavního napětí je 6,84 MPa a to v bodě fixace rámu. V ostatních oblastech rámu napětí nepřekračuje hodnotu 5 MPa.

Obr. č 37 Hlavní napětí



Zobrazení rámu v pozici otevřených dveří a simulace celkové deformace.



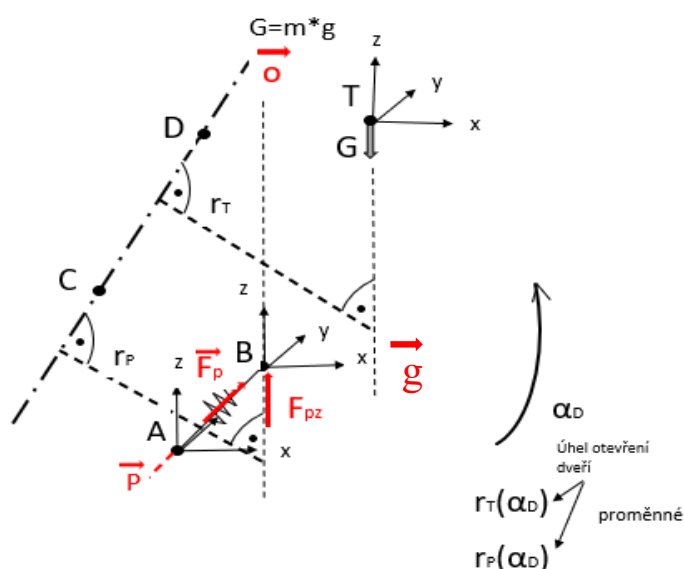
Obr. č 38 totální deformace

Výsledné hodnoty celkové deformace a redukovaného napětí jsou vzhledem k velikosti dveří zcela akceptovatelné. Hodnota redukovaného napětí podle hypotézy HMMH je v porovnání s mezí kluzu použitého materiálu mnohonásobně menší.

### 3.6 Výpočet síly potřebné k otevření dveří

Pro ověření správného fungování dveří při procesu otvírání a zavírání jsem zvolil software Adams od společnosti Microsoft. Prvním krokem ke správné simulaci však byl výpočet parametrické rovnice k zjištění poloměru, na jakém se dveře budou pohybovat.

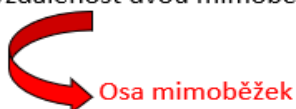
#### 3.6.1 Výpočet Excel



$$\operatorname{tg} \alpha_{pz} = \frac{|Bz - Az|}{|Bx - Ax|} \chi \Rightarrow F_{pz} = F_p \cdot \sin \alpha_{pz}$$

$$F_{pz} \cdot r_P > G \cdot r_T$$

Nejkratší vzdálenost dvou mimoběžek



Směrové úhly

$$\begin{aligned} \vec{S}_0 &= \vec{D-C} \\ \vec{S}_p &= \vec{B-A} \\ \vec{S}_g &= (0,0,1) \end{aligned}$$

Vzorový příklad výpočtu vzdálenosti dvou mimoběžek, podle kterého jsem postupoval.

Určete vzdálenost mimoběžek  $a, b$ , kde přímka  $a$  je dána bodem  $A[2, 1, -1]$  směřovým vektorem  $\vec{a} = (1, 1, 1)$ , přímka  $b$  je dána bodem  $B[1, 0, 2]$  a směřovým vektorem  $\vec{b} = (0, -2, 1)$ .

Řešení:

Hledáme krajní body  $P \in a, Q \in b$  nejkratší příčky mimoběžek  $a, b$ . Z parametrických rovnic přímky  $a: X = [2, 1, -1] + t(1, 1, 1)$  a přímky  $b: X = [1, 0, 2] + s(0, -2, 1)$  vyjádříme body  $P = [2, 1, -1] + t_p(1, 1, 1), Q = [1, 0, 2] + s_q(0, -2, 1)$  a vektor

$$\vec{QP} = (1, 1, -3) + t(1, 1, 1) - s_q(0, -2, 1), \text{ tj.}$$

$$\vec{QP} = (1 + t_p, 1 + t_p + 2s_q, -3 + t_p - s_q)$$

Vektor  $\vec{QP}$  musí být kolmý k oběma mimoběžkám, takže skalární součiny

$$\vec{a} * \vec{QP} = \vec{b} * \vec{QP} = 0$$

$$\vec{a} * \vec{QP} = 1 + t_p + 1 + t_p + 2s_q - 3 + t_p - s_q = 3t_p + s_q - 1 = 0$$

$$\vec{b} * \vec{QP} = -2 - 2t_p - 4s_q - 3 + t_p - s_q = -t_p - 5s_q - 5 = 0$$

Dostáváme soustavu dvou rovnic pro dvě neznámé  $t_p, s_q$ :

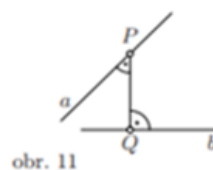
$$\begin{aligned} 3t_p + s_q - 1 &= 0 \\ -t_p - 5s_q - 5 &= 0 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad t_p = \frac{5}{7}, s_q = -\frac{8}{7}$$

Ze získaných hodnot parametrů vypočítáme souřadnice bodů

$$P = \left[ \frac{19}{7}, \frac{12}{7}, -\frac{2}{7} \right], Q = \left[ 1, \frac{16}{7}, \frac{6}{7} \right]$$

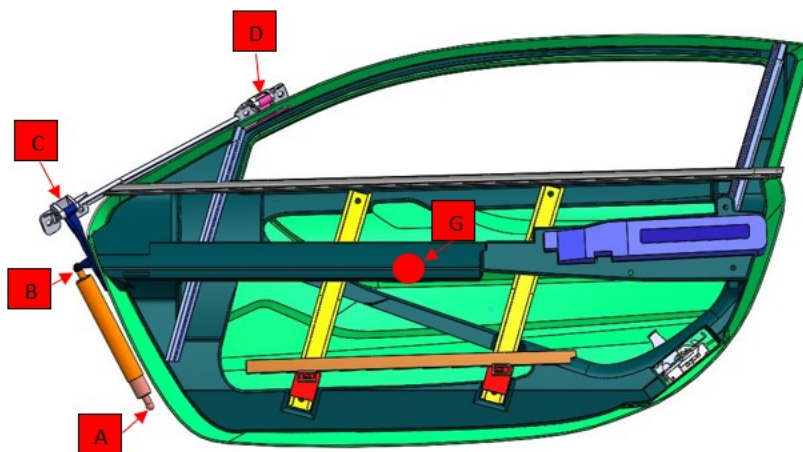
Hledaná vzdálenost je

$$d(a, b) = |QP| = \left| \left( \frac{12}{7} - \frac{4}{7} - \frac{8}{7} \right) \right| = 4 * \sqrt{\frac{2}{7}}$$



obr. 11

Na obrázku jsou znázorněné body A, B, C, D a G, jejichž souřadnice jsou použity při výpočtu.



Obr. č 39 Rám dveří se souřadnicemi

K výpočtu vzdálenosti dvou mimoběžek byl využit program Excel.

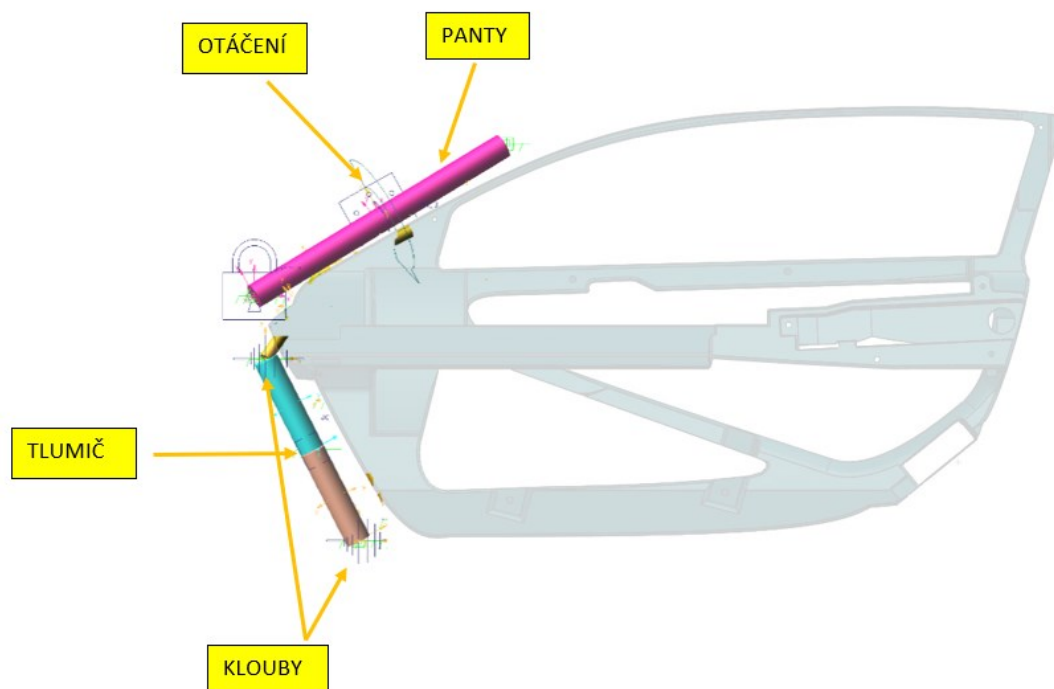
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Pant bod P							Tlumič bod T									
2	C D							A B									
3	x	y	z	x	y	z		x	y	z	x	y	z				
4	530,86	515,11	802,83	932,74	742,69	686,7		696,43	111,46	807,13	547,13	396,53	831,8				
5	směrový vektor							směrový vektor									
6	D-C							B-A									
7	401,88	227,58	-116,13					-149,3	285,07	24,67					C-A	403,65	-4,3
8																	
9																	
10	číslo	p	t														
11	139682,026	2010,6195	-104164														
12	25822,7544	226786,368	-2010,6														
13																	
14	-1,34098173	-0,01930244	1														
15	-12,8431831	-112,794274	1														
16																	
17	11,5022014	112,774972	0														
18																	
19	p	-0,1019925		489,871	491,899	814,674	bod P										
20	t	1,33901302		496,515	493,172	840,163	bod T										
21																	
22	osa	26,3715603	vzdálenost hledaných bodů na přímkách - hledaný poloměr														
23																	
24	Pant		bod P					Gravitace		bod G							
25	C		D					Těžiště		Těžiště 2							
26	x	y	z	x	y	z		x	y	z	x	y	z				
27	530,86	515,11	802,83	932,74	742,69	686,7		1277,61	407,43	769,09	1277,61	307,43	769,09				
28																	
29	směrový vektor							směrový vektor									
30	D-C							B-A									
31	401,88	227,58	-116,13					0	-100	0					C-A	107,68	33,74
32																	
33	číslo	p	g														
34	-10768	-22758	-10000														
35	-279516,302	226786,368	22758				první rovnice										
36																	
37	1,0768	2,2758	1				druhá rovnice										
38	-12,2821119	9,96512733	1														
39																	
40	13,3589119	-7,68932733	0														
41																	
42	p	1,73733167		1229,06	910,492	601,074											
43	g	-5,03061941		1277,61	910,492	769,09											
44																	
45	osa	174,890537															

Obr. č 40 výpočet v programu excel

Dle výpočtů je vzdálenost osy procházející oběma panty 26,37 mm od osy tlumiče. Vzdálenost tíhy od osy pantů je 174,89 mm. Tímto výpočtem byl zjištěn poloměr, na kterém se dveře pohybují.

Po úspěšném výpočtu následovala aplikace souřadnic do programu Adams, ve kterém jsem vytvořil simulaci otevírání, zavírání a síly k tomu potřebné.

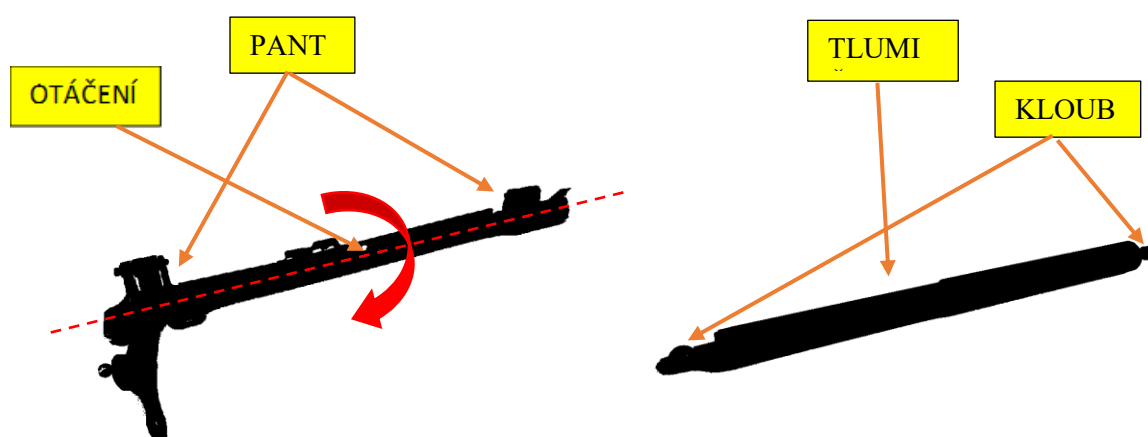
## 3.6.2 Výpočet Adams



Obr. č 41 Rám dveří v prostředí programu Adams

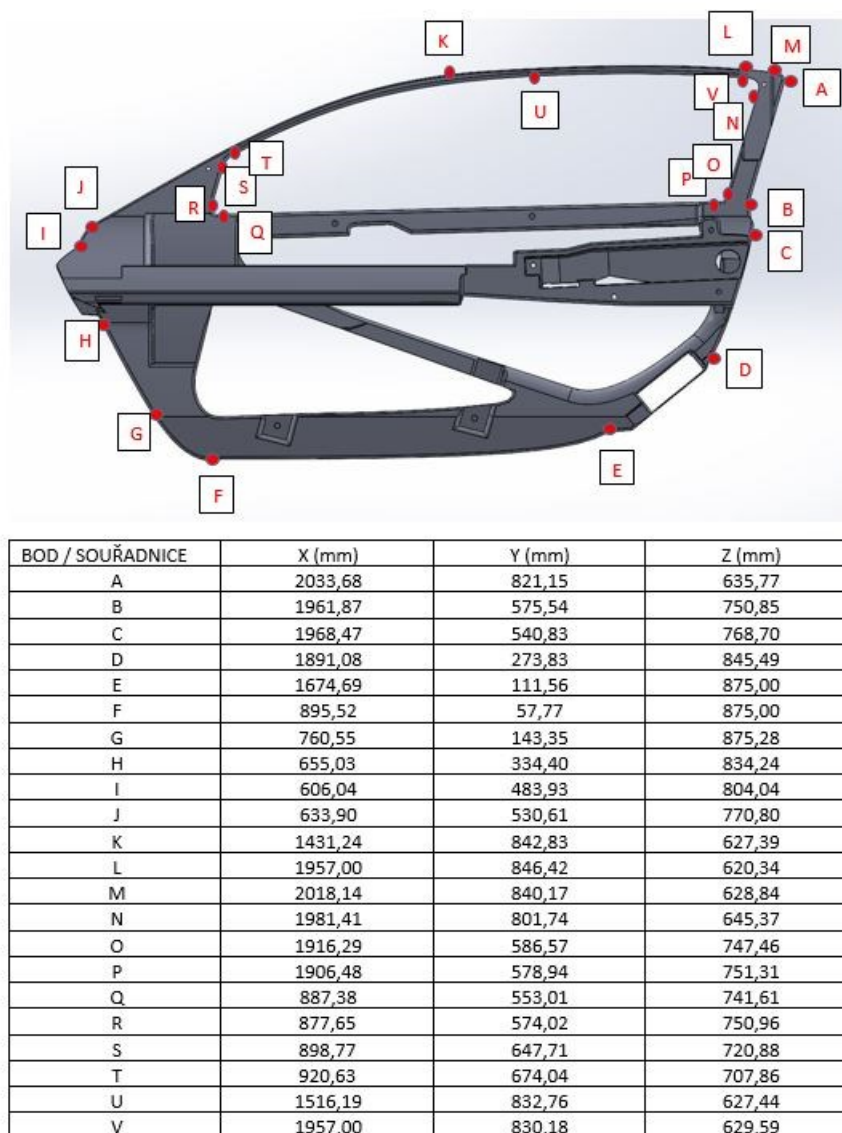
Panty – jejich poloha je zafixována a jediným stupněm volnosti je otáčení.

Tlumič – byla mu přiřazena vlastnost pružiny a je uložen na dva úhlové klouby.



Obr. č 42 Popis tlumiče a pantů

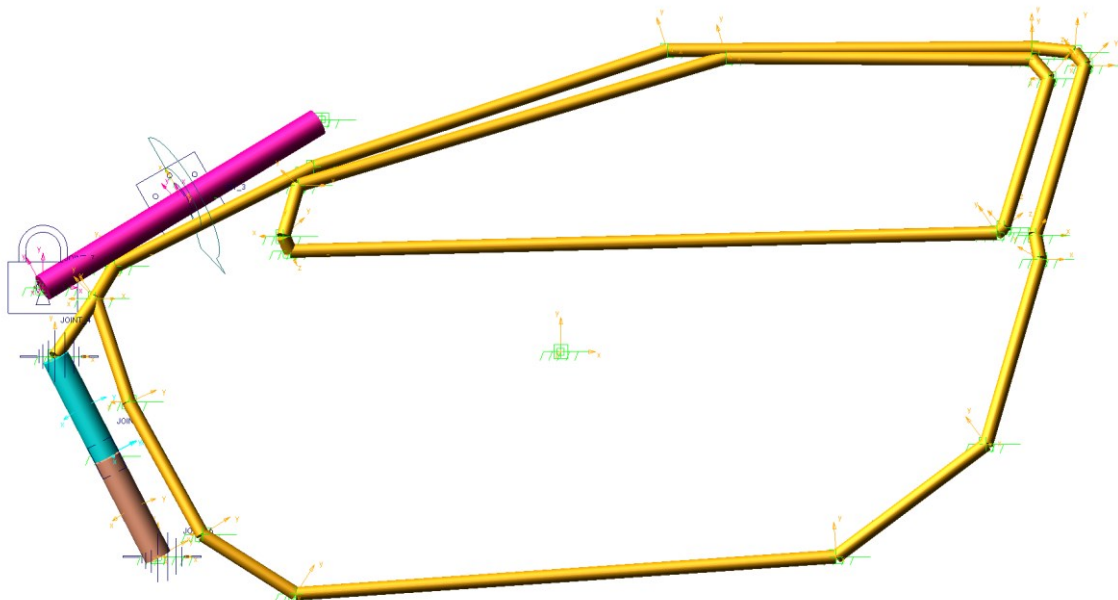
Výpočetní program Adams měl potíže se složitou geometrií rámu dveří, proto bylo zapotřebí pomocí souřadnic vytvořit alternativní geometrii, které byla přiřazena hmotnost.



Obr. č 43 Rám dveří s body a tabulkou popisující jejich polohu v souřadnicovém systému

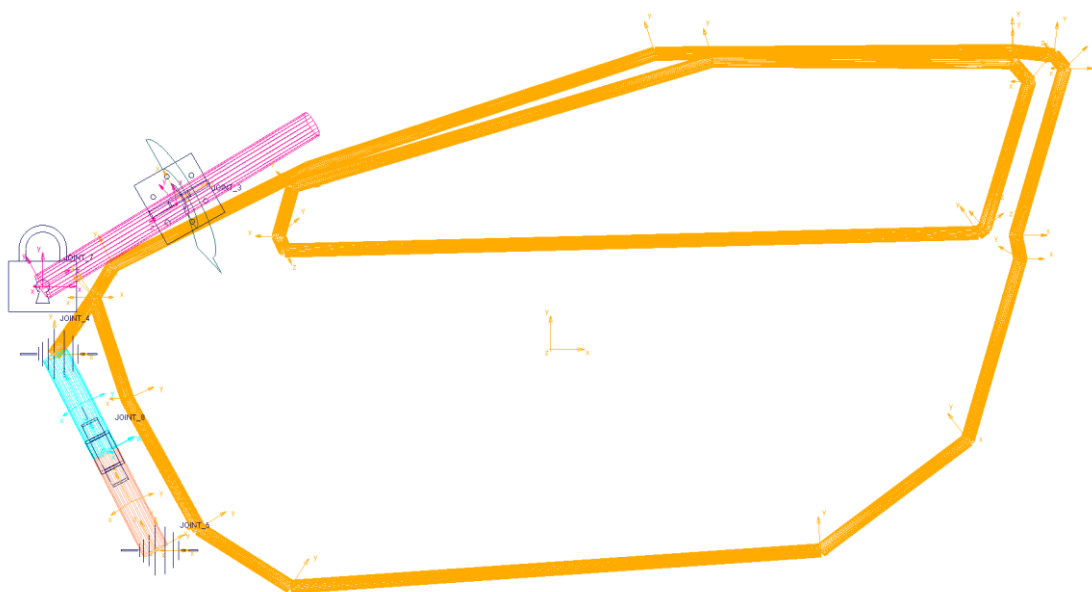


Grafické zobrazení modelu po úpravě geometrie pro zjednodušení výpočtu.



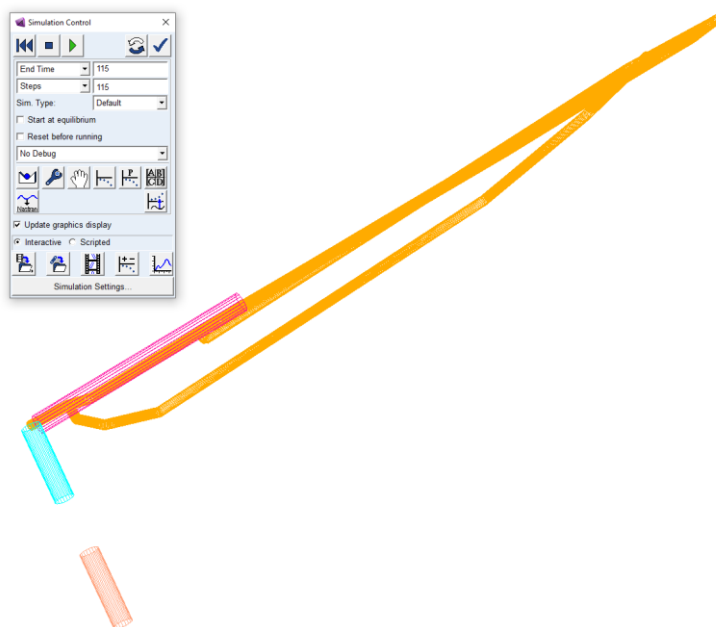
Obr. č 44 zjednodušená geometrie dveří v programu Adams

Program Adams umožňuje rozdílná zobrazení modelu pro lepší orientaci a vykreslení nastavených reakcí.



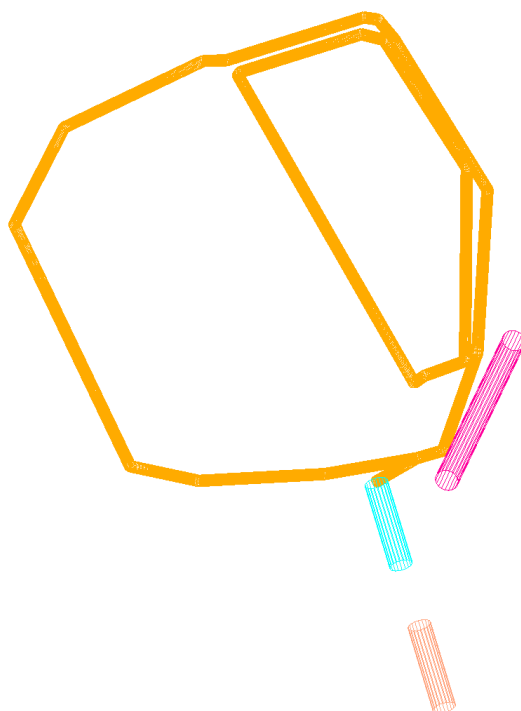
Obr. č 45 změněný formát zobrazení dveří v programu Adams

V simulaci byla dveřím přiřazena hmotnost 35 kg. Dle vážení je celková hmotnost rámu a všech komponent včetně bezpečnostního skla 20 kg a hmotnost vnějšího a vnitřního obalu je 10 kg, což bylo zjištěno z CAD modelu pomocí přiřazení tloušťky a hustoty materiálu. Pro simulaci byla dveřím přiřazena o 5 kg větší hmotnost než je odhadovaná celková hmotnost. Úhel maximálního otevření dveří byl nastaven na 115°.



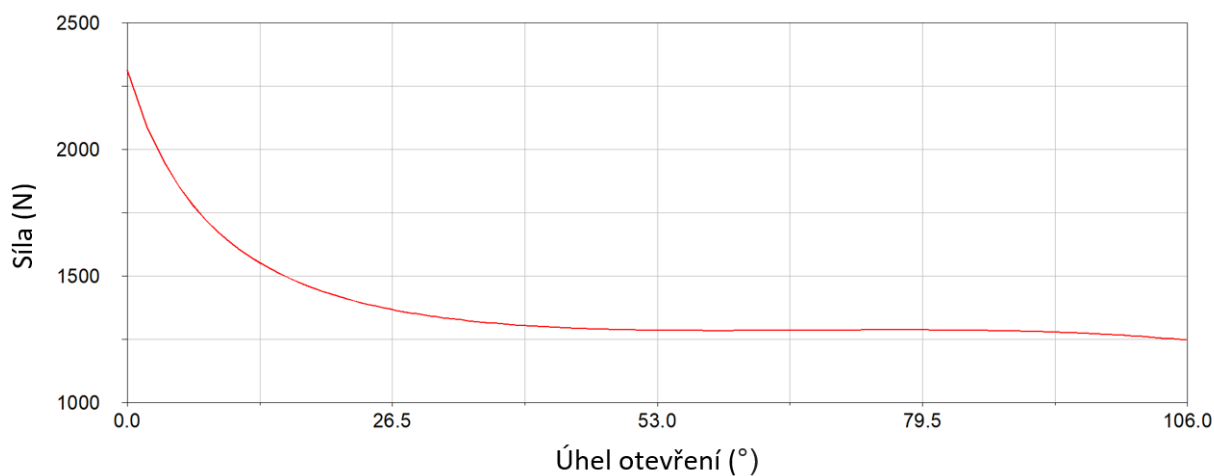
Obr. č 46 Dveře během simulace v otevřené poloze (boční pohled)

Pohled na plně otevřené dveře v prostředí programu Adams



Obr. č 47 Otevřené dveře v programu Adams (pohled zezadu)

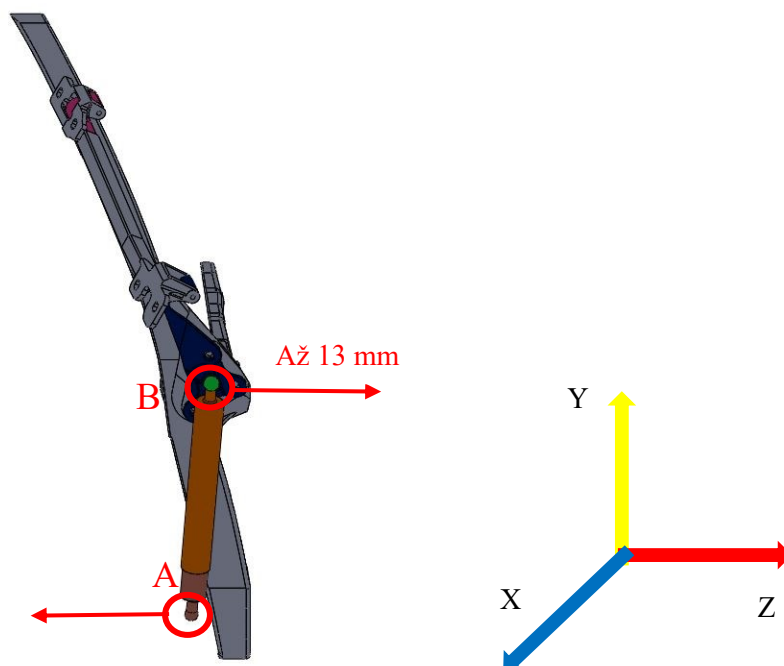
Z výsledných hodnot byl sestaven graf, ze kterého bylo zjištěno, že systém otevírání není navržen zcela ideálně a je zapotřebí jej upravit. Nevyhovující se zdá být příliš vysoká síla potřebná k otevření.



Obr. č 48 Graf síly potřebné k otevření dveří

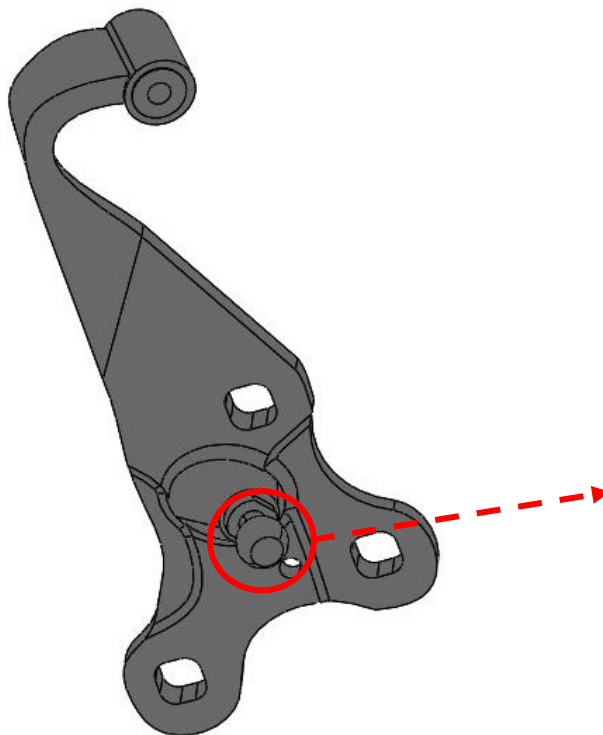
Pomocí simulace v programu Adams bylo odhaleno kritické místo otevírání, které vytvářelo skokovou změnu v grafu a také byla odhalena příčina vysoké hodnoty síly potřebné k otevření dveří. Po této analýze vzniku nevyhovujících hodnot, bylo zapotřebí provést konstrukční úpravy.

První konstrukční úpravou bylo posunutí bodu B viz. Obr. č 49 Pohled na pozici tlumiče, tedy místa uchycení plynové vzpěry, dle rozměrových možností, po ose Z směrem ven z vozu. Konstrukční možnosti dveří umožňují posunutí až o 13 mm. Alternativní možností je posunutí bodu A po ose Z směrem do vozidla.



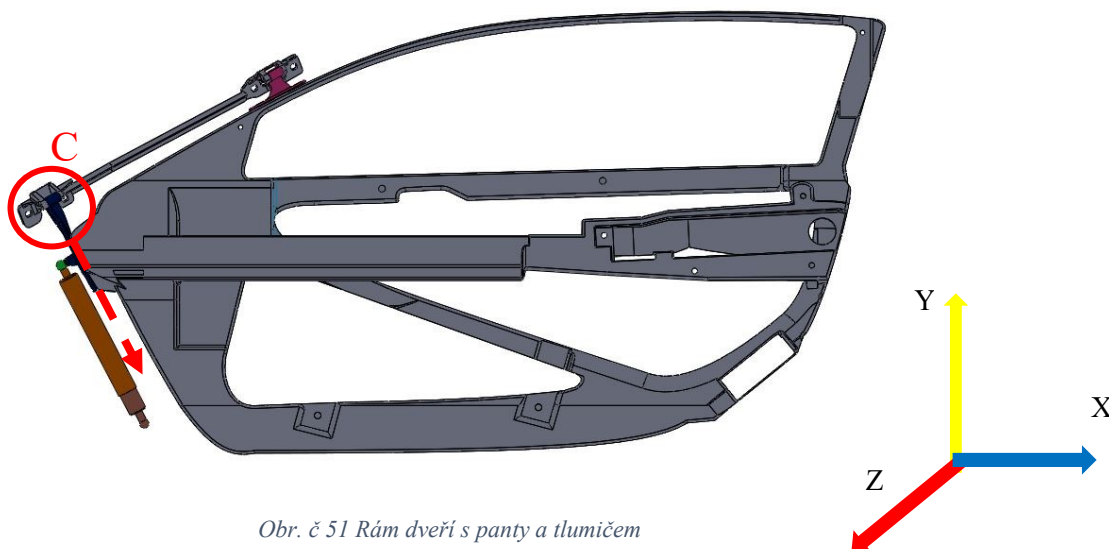
Obr. č 49 Pohled na pozici tlumiče

Úprava vrchního bodu uchycení tlumiče by mohla být realizována pomocí technologie svařování, kdy by se tento bod uřezal, byl by přidán materiál pro posunutí a následně by byl přivařen.



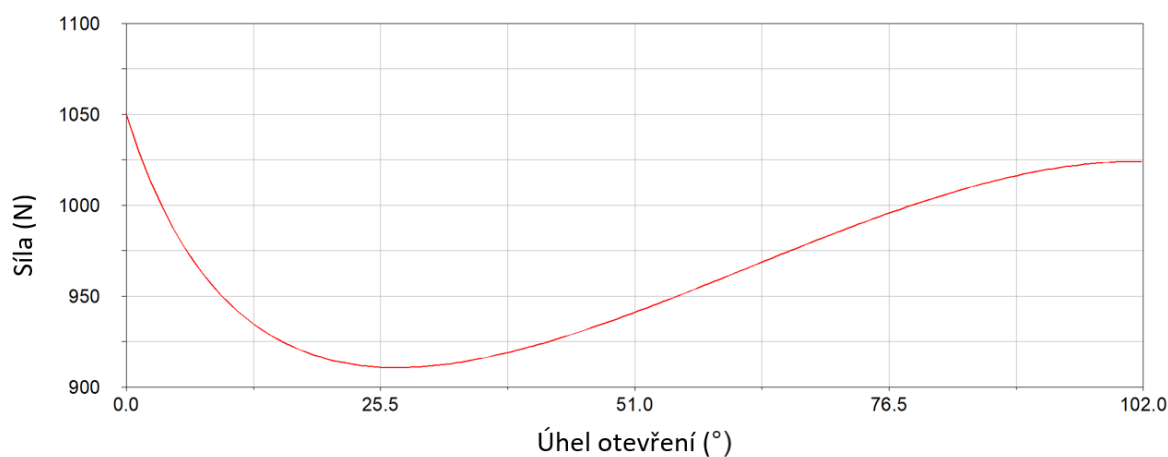
Obr. č 50 Detail pantu

Pro snížení síly potřebné k otevření dveří, se zdá být také vyhovujícím řešením úpravy pozice pantů, a to přesněji posunutím pantu označeným písmenem C dolů ve směru osy Y. Touto úpravou se sníží úhel potřebný k maximálnímu otevření dveří, jelikož se (z bočního pohledu) pravá strana dveří bude zvedat výše a umožní tak pohodlný nástup do vozu.



Obr. č 51 Rám dveří s panty a tlumičem

Došlo tedy k úpravě geometrie tlumiče a pantů pomocí úpravy souřadnic v programu Adams a následná kontrola výsledků. Výsledné hodnoty jsou znázorněny v grafu na Obr. č 52 Graf síly potřebné k otevření dveří po úpravě geometrie



Obr. č 52 Graf síly potřebné k otevření dveří po úpravě geometrie

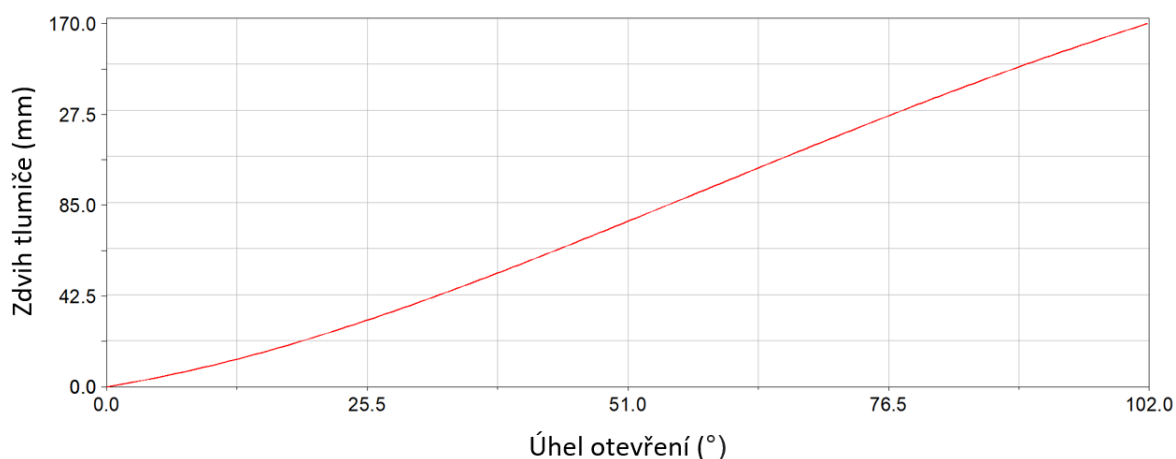
Z grafu lze vyčíst, že obě změny měly pozitivní vliv na průběh síly potřebné k otevření dveří. Maximální potřebná síla k otevření dveří se snížila o 1250 N. Na geometrii pantů a tlumiče lze dále pracovat, tak aby výsledné hodnoty byly co nejvhodnější pro danou aplikaci.

Při konstrukci dveří tohoto typu je také důležité dveře navrhnout tak, aby úhel otevření dveří byl dostatečný k pohodlnému nástupu do vozidla a výstupu z vozidla. K zjištění maximálního úhlu otevření dveří je zapotřebí znát maximální zdvih tlumiče. Maximální zdvih tlumiče byl zjištěn pomocí experimentu, při kterém byl jeden konec zafixován do přípravku a na druhý konec bylo tlačeno silou, tak aby se tlumič zatlačoval. Při tomto experimentu bylo zjištěno, že chod tlumiče je 170 mm. Proces experimentu je znázorněn na obrázku č. 53.



Obr. č 53 Experiment zatlačování tlumiče

Následně byla zjištěná hodnota maximálního zdvihu tlumiče vložena do programu Adams, pomocí kterého byl vytvořen graf znázorňující závislost délky zdvihu tlumiče na úhlu otevření dveří. Maximální úhel dveří je  $102^\circ$ , což zaručuje dostatečně pohodlný nástup do vozu.



Obr. č 54 Graf znázorňující závislost úhlu otevření na délce vysunutí tlumiče



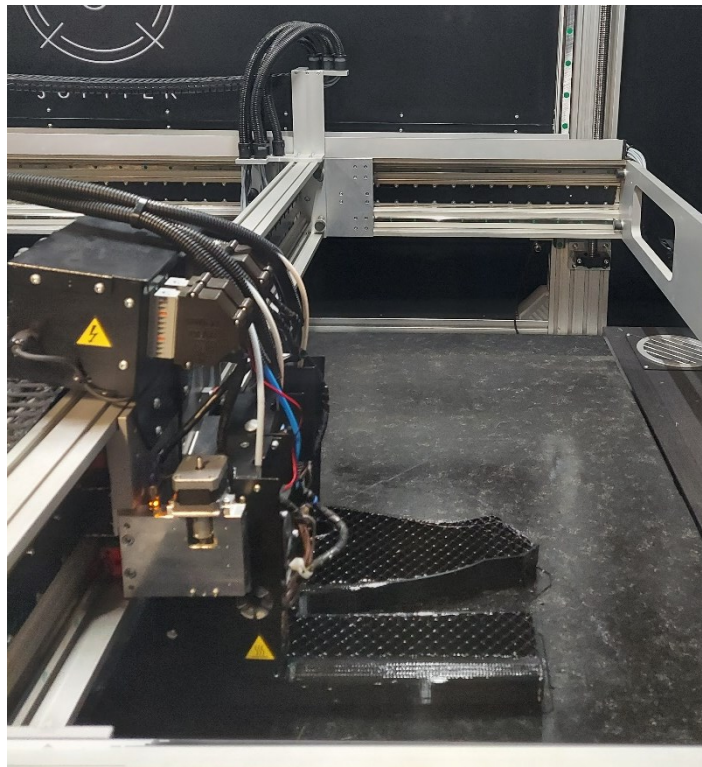
## 4. Výroba prototypu

### 5.

Po výpočtech a simulacích následovala výroba prototypu dveří v několika krocích.

#### 5.1 Tisk jádra

3D tisk jádra probíhal na velkoformátové tiskárně od společnosti Atmat, která tiskne technologií FDM. Pracovní plocha této tiskárny je X: 2000 Y: 1000 Z: 1000 mm. Z důvodu možnosti tepelné deformace tisknutého dílu, jsme se rozhodli tisknout jádro na několik částí a eliminovat možnost tvarové deformace vlivem teploty. I přesto, že jádro bylo rozděleno na několik částí, nám tiskárna umožnila tisk v nadstandartních rozměrech, což ulehčilo následné sestavení jádra do celku.



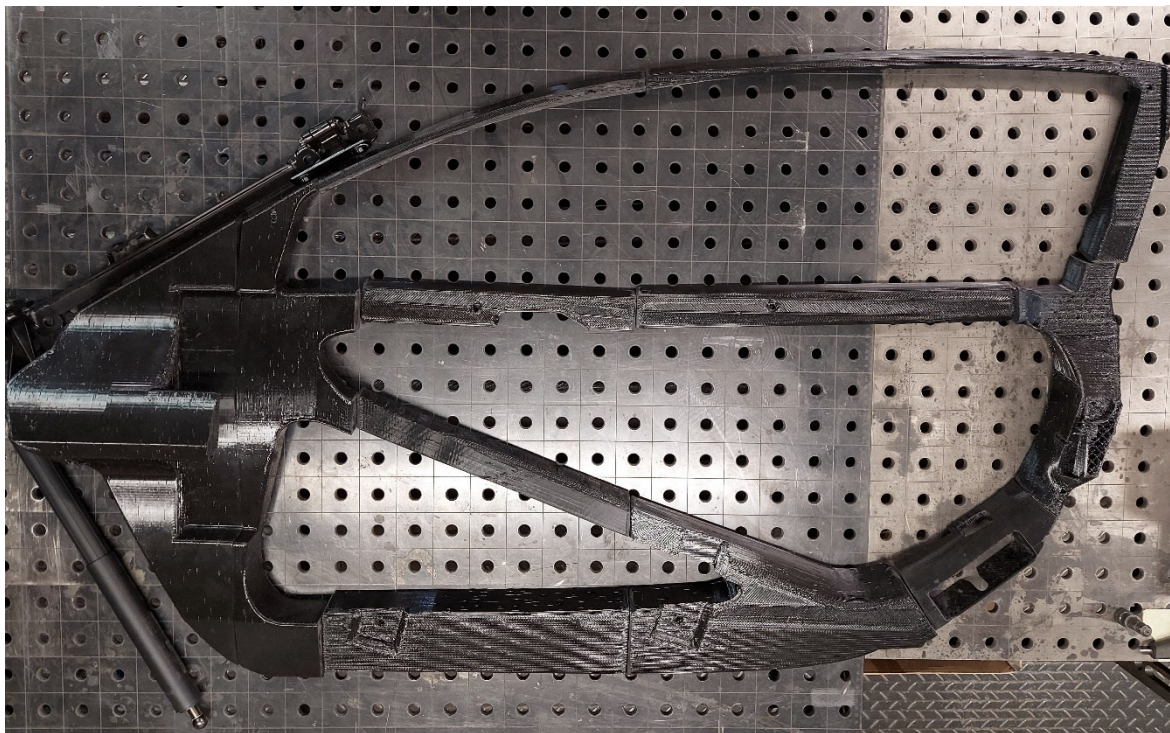
*Obr. č 55 Část rámu během tisku*

## 4.2 Odlehčení a lepení

Po vytisknutí všech komponentů bylo provedeno vážení viz. obrázek č. 56 a sestavení dílů v celek viz. obrázek č. 57. Hmotnost všech vytisknutých dílů byla 6 kg. Z důvodu nutné úspory váhy bylo provedeno odlehčení, které bylo realizováno na všech místech, kde to konstrukce a technologie laminace umožňovala.



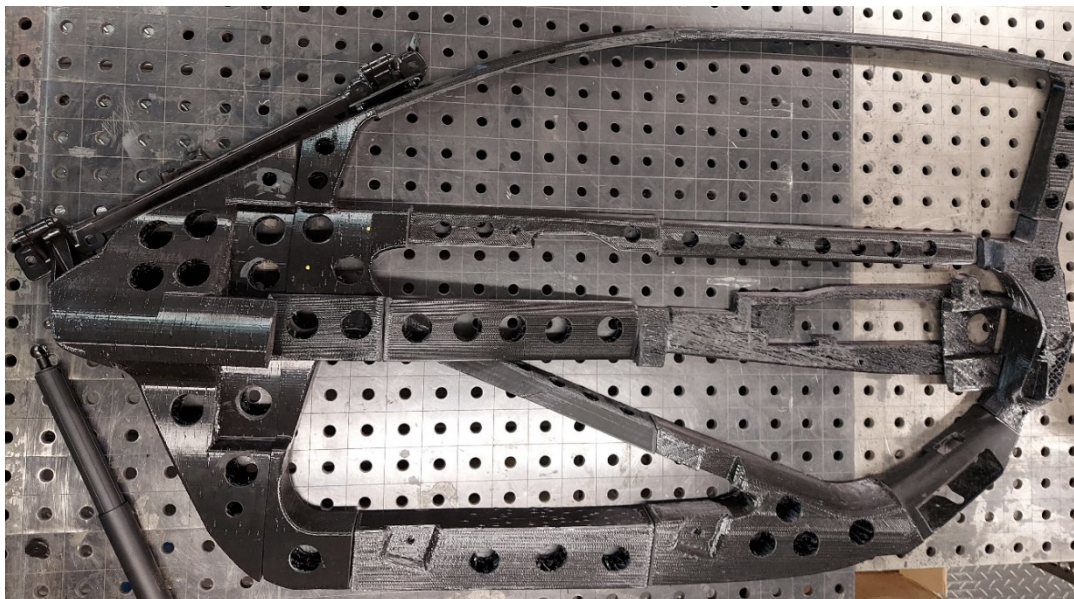
Obr. č 56 Vážení všech dílů jádra rámu



Obr. č 57 Sestava jádra rámu

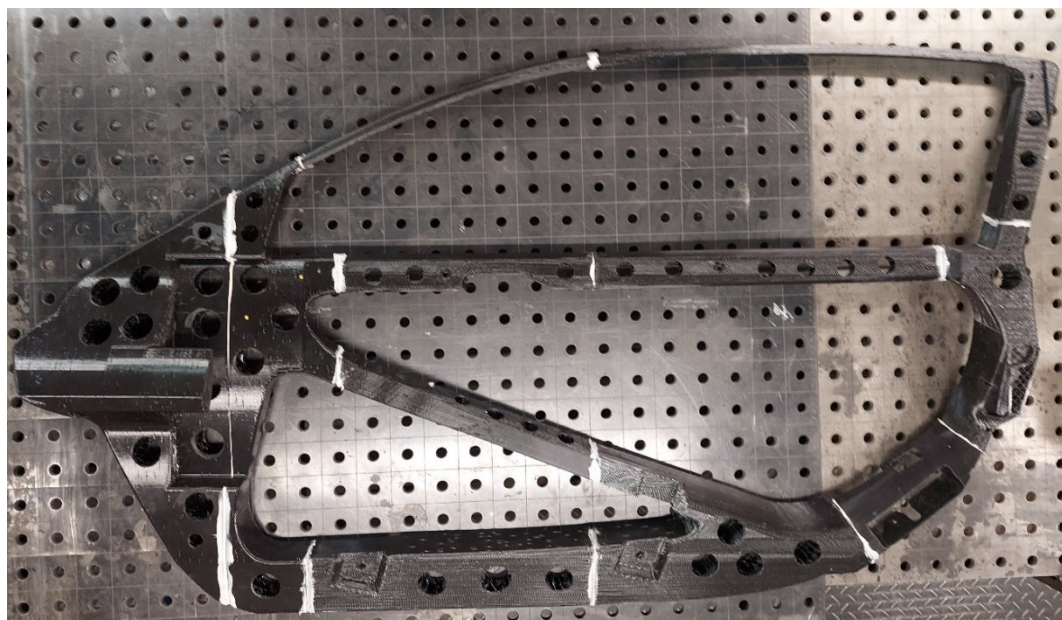


Odlehčování jádra dveří bylo prováděno pomocí vykružovacích korunek o různých rozměrech. Účelem bylo vytvořit co největší počet děr sloužících k odlehčení viz. obrázek č. 58, které neovlivní funkčnost a následné kroky výroby.



*Obr. č 58 Jádro rámu po odlehčení*

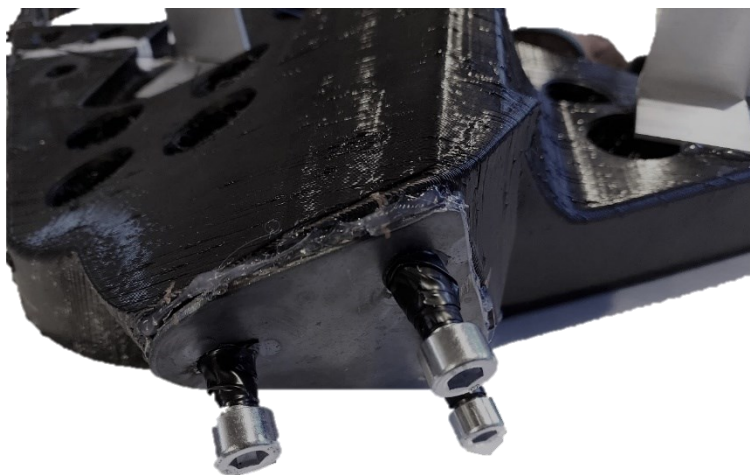
Dosedací plochy jednotlivých dílů byly před lepením obroušeny a očištěny lihem. Ke spojení dílů bylo použito jednosložkové flexibilní lepidlo od společnosti Pattex s obchodním názvem ONE FOR ALL, které se při experimentu jeví nejlépe především kvůli flexibilitě a dostatečné pevnosti spoje. Splený rám lze vidět na obrázku č. 59.



*Obr. č 59 Splené části jádra rámu v jeden celek*

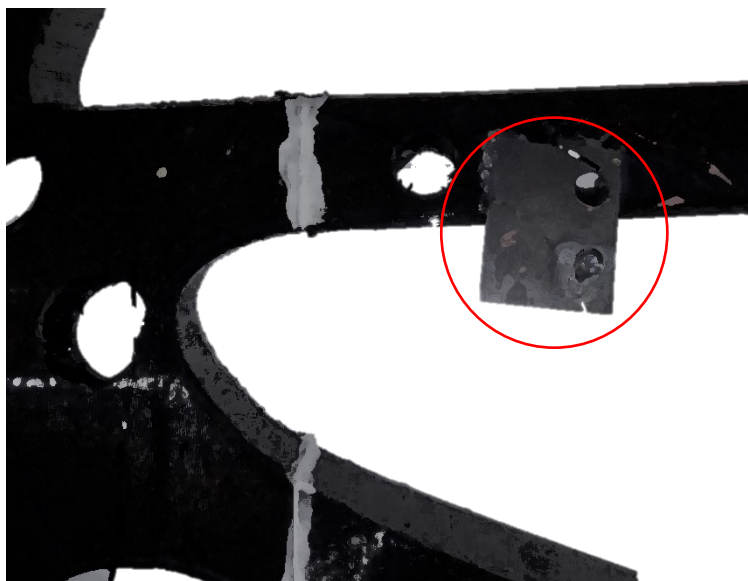
### 4.3 Výroba insertů a laminace

Před samotnou laminací bylo zapotřebí vytvořit inserty sloužící k uchycení komponent a samotného rámu k závěsům. Pro tento prototyp dveří byla zvolena ocel jako materiál, z něhož jsou vyrobeny inserty pro upevnění závěsů viz. obr. č. 58, vnější kliky a stahovacího zařízení viz. obr. č. 60. Držáky vodících lišt okna jsou vyrobeny z hliníkového L profilu. K uchycení závěsu jsou použity šrouby o velikosti M10 x 30 s kulatou hlavou a vnitřním šestihranem. Před laminací bylo zapotřebí ošetřit závity před zatečením pryskyřice.



*Obr. č 60 Insert sloužící k upevnění závěsu dveří*

Inserty byly na svou pozici přichyceny pomocí tavného lepidla, tak aby při manipulaci a laminaci nebyla změněna jejich pozice.



*Obr. č 61 Úchyt sloužící k připevnění stahovacího zařízení*

Pro výrobu tohoto prototypu byla zvolena mokrá laminace což znamená, že uhlíkové vlákno bylo prosycováno pryskyřicí a tužidlem. K laminaci byla použita epoxidová pryskyřice LH 260 a tužidlo H 146 od společnosti Havel composites. Poměr, ve kterém se připravuje pryskyřice společně s tužidlem, je 100 : 27 gramů. Doba zpracování je potom cca 60 minut.

Na obr. č. 62 lze vidět rám dveří po aplikaci první vrstvy uhlíkového vlákna



*Obr. č 62 Rám dveří po aplikaci první vrstvy*



Po zaschnutí první vrstvy bylo provedeno vážení rámu viz. obr. č. 63. Celková hmotnost rámu byla 7,5 kg, což vypovídá o tom, že hmotnost samotných insertu a první vrstvy laminace je 1,5 kg.



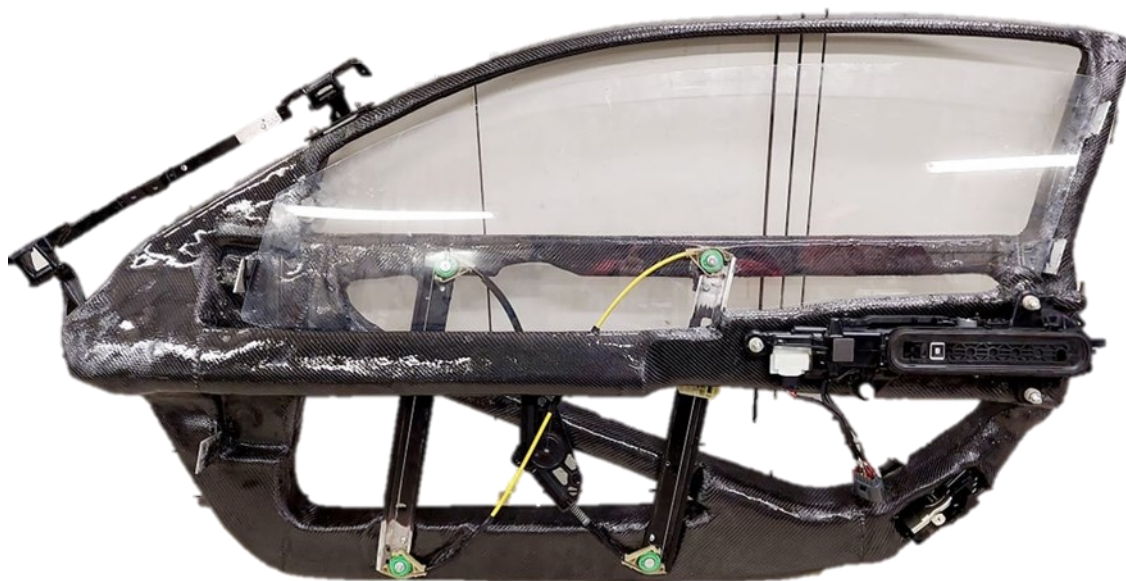
*Obr. č 63 Vážení rámu po první vrstvě laminace*

Na obrázku č. 64 je zobrazen rám dveří během procesu laminace druhé vrstvy.



*Obr. č 64 Rám dveří během laminace druhé vrstvy*

Vytvrzovací proces pryskyřice probíhal 24 hodin. Po jeho úplném zaschnutí byla odstraněna přebytečná pryskyřice a následně bylo možno rám osadit komponenty a připravit ke zkoušce funkčnosti. Hmotnost rámu po aplikaci druhé vrstvy a montáži komponentů je 16,5 kg.



*Obr. č 65 Finální verze rámu včetně komponentů*

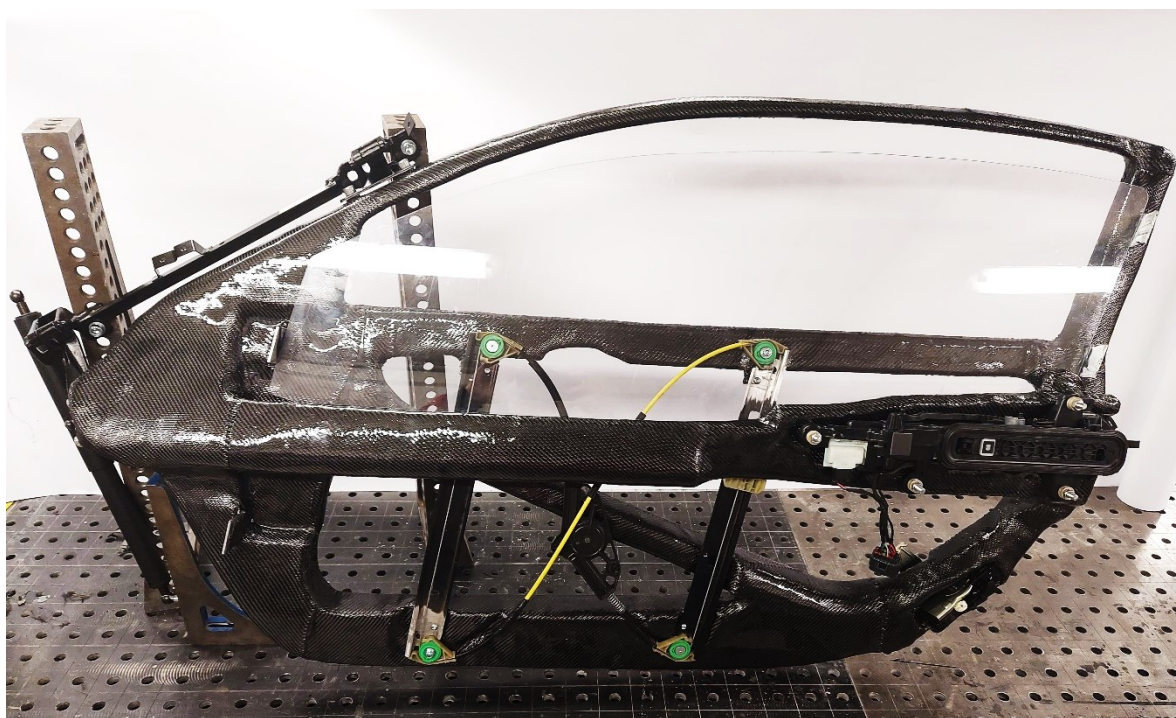


## 6. Testování funkčnosti

Posledním, ale ne však opomenutelným krokem, je validace dat. Bylo zapotřebí navrhnout způsob a metodiku jakým tento rám podrobit testu funkčnosti, který by dostatečně simuloval podmínky běžného provozu a používání.

### 6.1 Testování závěsu

Pro test, který otestuje funkčnost závěsu, bylo zapotřebí vytvořit přípravek, který nahrazuje uchycení dveří ke karoserii vozidla. Pomocí svařovacího stolu a jeho přípravků byl vytvořen stojan, který naprosto vyhovoval účelům tohoto testu.



*Obr. č 66 Rám zavěšený na přípravku*

Na obrázku č. 67 a č. 68, lze vidět nastrojený rám dveří v pozici otevřených dveří. Tento test zkouší funkčnost závěsu a plynové vzpěry.



*Obr. č 68 Zkouška závěsu*



*Obr. č 67 Zkouška závěsu a plynové vzpěry*



*Obr. č 69 Proces testování*

Pomocí tohoto testu byla ověřena funkčnost otevíracího mechanismu, plynové vzpěry a pevnost závěsu. Zkouška probíhala ve dvou fázích. V první fázi byl zkoušen samotný rám s komponenty, kde byla ověřena správná funkčnost. V této fázi otevírací mechanismus fungoval správně a podle předpokladu plynová vzpěra kladla značně velký odpor při procesu zavírání. V druhé fázi testování byl rám dveří dovážen na předpokládanou hmotnost dveří včetně vnějšího a vnitřního obalu. Mechanismus pracoval velmi dobře a proces otevírání a zavírání byl plynulý. Z důvodu dovážení dveří na hmotnost, která odpovídá výpočtům a simulacím se snížila síla potřebná při procesu zavírání na optimální úroveň. Chod dveří je dle požadavků. Na dveřích budou i nadále probíhat zkoušky a měření, které ověří jejich funkčnost. Pomocí poznatků získaných při zkouškách lze dále pracovat na zdokonalení funkčnosti dveří.



## 6. Závěr

V úvodu diplomové práce byl proveden rozbor problematiky otevírání dveří. Byla zdokumentována součástková základna, a také důležité požadavky na dveře. Pro vývoj dveří bylo nutné zahrnout i bezpečnost a technické požadavky legislativy, které jsou vyžadovány pro schválení provozu na pozemních komunikacích.

Po zpracování teorie a problematiky legislativy byl vytvořen konstrukční návrh dveří, který zahrnoval kompletní sestavu. Rám bylo zapotřebí navrhnout tak, aby kopíroval zakřivení boční strany vozu, což bylo poměrně problematické.

Po ověření správnosti navržené konstrukce byla provedena kinematická analýza pohybu dveří. Výsledkem této analýzy byla závislost vysunutí vzpěry na úhlu otevření dveří. Dále pak minimální nutná síla pro otevření dveří v závislosti na úhlu otevření. Protože se jedná o nosnou konstrukci, na které jsou upevněny další části, provedl jsem také pevnostní analýzy. Výsledkem pevnostních analýz je maximální průhyb dveří při otevřeném stavu, který je 0,73 mm a průběh redukovaného napětí dle HMM hypotézy. Tato hodnota průhybu na nejvzdálenějším místě od zavěšení dveří se jeví jako přijatelná. Tato hodnota by neměla nijak narušovat linii dveří na karoserii vozidla. Maximálního napětí dosahovala konstrukce v místě závěsu dveří a měla hodnotu 7,32 MPa. To bylo způsobeno nevhodným výběrem místa určeného pro aplikaci fixaci rámu.

Po ověření návrhu následovala samotná výroba. Ta vycházela z 3D výtisku. Vytisknuté díly se slepily do jednotného celku. Poté byly vytvořeny uchycovací body pro komponenty dveří, jimiž budou dveře osazeny. Při lepení 3D výtisků bylo nutné dodržet správný tvar dveří, nevýhodou 3D tisku a lepení menších celků byla menší přesnost, navíc u 3D tisku velkých celků bývá problém se smršťováním. Po drobných úpravách a přeměření byl tedy slepen rám dveří s přesností na cca 1 - 2 mm, což bylo pro náš účel dostačující, vzhledem k tomu, že se jednalo o první prototyp. Upravený a slepený výtisk rámu byl následně potažen karbonovým vláknem a pryskyřicí ve dvou vrstvách. Jelikož byl povrch rámu poměrně členitý, proces nanášení pryskyřice a karbonového vlákna byl poměrně problematický a vyžadoval větší preciznost. Zde by bylo vhodné v další verzi rámu využít demontovatelnou výztuhu, na které je umístěna klika, pak by bylo možné použít techniku vakuování, což by vylepšilo přilnutí vlákna a snížilo množství pryskyřice, což by vedlo také ke snížení hmotnosti. Dále by bylo vhodné zmenšit úhel přechodů z 90° na menší hodnotu a přidat do rohů zkosení, aby uhlíková tkanina měla lepší soudržnost s materiálem a nedocházelo při přehnutí například o 90° k odlepování.

Testování probíhalo na svařovacích stolech, které zaručovali ideální tuhost. Zde se dveře pomocí přípravků upevnily a testovala se funkčnost otevíracího mechanismu, zda při pohybu dveří nedochází například k vylomení insertů, případně nedochází k těžkému chodu dveří. Byla zde sledována také funkčnost plynové vzpěry, která při pootevření dveří musí napomáhat jejich otevření a nesmí „vystřelit“ dveře velkou rychlostí nahoru. Chod dveří při otevírání byl plynulý, plynová vzpěra zaručovala samostatný a pozvolný chod dveří směrem vzhůru. Zkoušky zde proběhly úspěšně a potvrdily funkčnost rámu a jeho zavěšení.

I přes to, že se prototyp nosného rámu dveří jeví jako dobře fungující, je potřeba na něm nadále pracovat. Proces výroby poskytuje značný prostor k optimalizaci, především proces laminace, kde by bylo vhodné, jak již jsem zmínil zavést samostatnou montovanou příčku, na které je přichycena klika dveří. To by umožnilo zavést proces vakuování, který by byl efektivnější než ruční laminace co se týče hmotnosti a spotřeby pryskyřice. Navíc demontovatelný díl by přispěl ke snadnější výměně mechanismu kliky v případě poruchy.

Dalším velkým prostorem k optimalizaci je redukce váhy pomocí odstranitelného jádra. Jádro v tomto prototypu je pevnou součástí rámu a tvoří 6 kg z jeho celkové hmotnosti, což není zanedbatelná hmotnost u automobilu, kde se počítá každý kilogram. Zavedením odstranitelného jádra bychom získali lehký uhlíkový skelet rámu dveří, který by měl daleko menší hmotnost odhadem kolem 3–4 kg, pokud bychom použili 3 vrstvy uhlíkové tkaniny.

Je ale nutné počítat, že samotné odlehčení dveří by opět přineslo nutnost použití plynové vzpěry s menší udávanou silou.

Celkově vzato využití velkoformátového 3D tisku, případně tisku menších formátů a jejich spojování s využitím procesu laminace například uhlíkovým vláknem má smysl. Umožňuje poměrně rychle a za poměrně nízkých nákladů vytvářet i tvarově složitější díly, které se dají využívat u prototypů nejen dveří, ale i různých jiných částí automobilů. Vzhledem k laminaci přímo na povrch je tato technologie vhodná především na díly, které nejsou pohledové. Pokud by díly byly pohledové, byla by zde potřeba složitější povrchová úprava, vzhledem k tomu, že laminace se neprovádí přímo do negativní formy.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] VLK, František. *Automobilová technická příručka*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-9681-4.
- [2] VLK, František. *Stavba motorových vozidel: [osobní automobily, autobusy, nákladní automobily, jízdní soupravy, ergonomika, biomechanika, struktura, kolize, materiály]*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8757-2.
- [3] *Směrnice Rady 70/387/EHS ze dne 27. července 1970 o sbližování právních předpisů členských států týkajících se dveří motorových vozidel a jejich přípojných vozidel* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31970L0387>
- [4] *European New Car Assessment Programme (euro NCAP)* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en>
- [5] *3D tisk jako podpora kompozitních struktur* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/42319/dobi%C3%A1%20\\_2018\\_dp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/42319/dobi%C3%A1%20_2018_dp.pdf?sequence=1)
- [6] *Řešení pro spojování kompozitních materiálů* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.bossard.com/cz-cs/assembly-technology-expert/technicke-informace/narocne-ukoly-v-oboru-spojovani/reseni-pro-spojovani-kompozitnich-materialu/>
- [7] *Roof Strength Test Protocol* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: [https://www.iihs.org/media/46940e89-46cb-4e6e-81ee-8230bb3b5dd9/Qk3tzg/Ratings/Protocols/current/test\\_protocol\\_roof.pdf](https://www.iihs.org/media/46940e89-46cb-4e6e-81ee-8230bb3b5dd9/Qk3tzg/Ratings/Protocols/current/test_protocol_roof.pdf)
- [8] *Sendvičové materiály* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/85027/F2-BP-2019-Hemer-Daniel-Bakalarska%20prace%20-%20Hemer.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [9] *Carbon Fiber Inserts* [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/dancookportfolio/carbon-fiber-inserts>
- [10] *Numerical and Experimental Modal Analysis of Car Door with and without Incorporating Visco-elastic Damping* [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: [//doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.589](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.589).
- [10] *Car door features carbon/flax hybrid* [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034361717301388?via%3Dihub>
- [11] *Carbon fibre and cars – 2013 in review* [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034361714700360>
- [12] *Carbon fiber integrated into large-scale car production* [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034361715004361>
- [13] *Luxury sports car employs carbon fibre* [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0034-3617\(08\)70316-3](https://doi.org/10.1016/S0034-3617(08)70316-3)

[14] Carbon fibre car demonstrates potential of 3D printing [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0034-3617\(14\)70223-1](https://doi.org/10.1016/S0034-3617(14)70223-1)

[15] Faster production of carbon fibre car parts [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0034-3617\(04\)00430-8](https://doi.org/10.1016/S0034-3617(04)00430-8)

[16] *The European New Car Assessment Programme: A historical review* [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1008127516000110>

---



---

## Seznam zdrojů obrázků

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly\\_doors#/media/File:1996\\_McLaren\\_F1\\_open.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly_doors#/media/File:1996_McLaren_F1_open.jpg)
- [2] [https://www.researchgate.net/figure/The-schematic-of-window-lift-system-in-door-moduleelectric-power-and-manual-window-type\\_fig1\\_263362319](https://www.researchgate.net/figure/The-schematic-of-window-lift-system-in-door-moduleelectric-power-and-manual-window-type_fig1_263362319)
- [3] <https://auto.ihned.cz/c1-64222760-jen-tri-auta-z-deseti-maji-pet-hvezd-za-bezpecnost-mezi-nimi-novy-superb>
- [4] <https://www.motor-talk.de/forum/ambientebeleuchtung-nachruesten-t5570881.html>
- [5] <https://www.skoda-storyboard.com/en/models/kodiaq-skinned-to-the-bone/>
- [6] <https://www.gov.uk/government/organisations/department-for-transport>
- [7] <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31970L0387>
- [8] [https://www.iihs.org/media/46940e89-46cb-4e6e-81ee-8230bb3b5dd9/Qk3tzg/Ratings/Protocols/current/test\\_protocol\\_roof.pdf](https://www.iihs.org/media/46940e89-46cb-4e6e-81ee-8230bb3b5dd9/Qk3tzg/Ratings/Protocols/current/test_protocol_roof.pdf)
- [9] [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/42319/dobi%C3%A1%202018\\_dp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/42319/dobi%C3%A1%202018_dp.pdf?sequence=1)
- [10] [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=173283](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=173283)